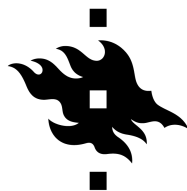


HELSINGIN YLIOPISTO



MATEMAATTIS-LUONNONTIETEELLINEN TIEDEKUNTA
MATEMATIIKAN JA TILASTOTIETEEN OSASTO

**Kehittämistutkimus: Virtuaalitodellisuuden
käyttö avaruusgeometrian opetuksessa
yläasteella**

MAISTERINTUTKIELMA

Tekijä:

Maria LARIONOVA

Ohjaajat:

Juha OIKKONEN

Matti PAUNA

Martina AALTONEN

Antti LÄHTEVÄNOJA

Elokuu 2020



HELSINGIN YLIOPISTO
HELSINGFORS UNIVERSITET
UNIVERSITY OF HELSINKI

MATEMAATTIS-LUONNONTIEDELLINEN TIEDEKUNTA
MATEMATISK-NATURVETENSKAPLIGA FAKULTETEN
FACULTY OF SCIENCE

Tiedekunta – Fakultet – Faculty Matemaattis-luonnontieteellinen		Koulutusohjelma – Utbildningsprogram – Degree programme Matematiikan, fysiikan ja kemian opettajan maisteriohjelma	
Tekijä – Författare – Author Maria Larionova			
Työn nimi – Arbetets titel – Title Kehittämistutkimus: Virtuaalitodellisuuden käyttö avaruusgeometrian opetuksessa yläasteella			
Työn laji – Arbetets art – Level Maisterintutkielma		Aika – Datum – Month and year Elokuu 2020	Sivumäärä – Sidoantal – Number of pages 33 s. + 9 s.
Tiivistelmä – Referat – Abstract <p>Avaruusgeometriaa pidetään koulussa haasteellisena matematiikan osa-alueena. Avaruusgeometria eroaa muista koulumatematiikan osa-alueista kolmiulotteisilla kappaleilla. Monille kappaleiden hahmottaminen voi olla hankalaa. Tässä tutkimuksessa selvitettiin, voisiko VR-teknologia helpottaa ja auttaa kolmiulotteista hahmottamista. Virtuaalitodellisuuden vahvuutena voidaan pitää mahdollisuutta luoda maailmoja, joita ei reaali maailmaan pystytä rakentamaan. Virtuaali maailmasta voidaan poistaa painovoima, jolloin esimerkiksi kappaleita voidaan tarkastella niiden leijuesssa.</p> <p>Tutkimus toteutettiin yläasteikäisillä opiskelijoilla. Opiskelijat pääsivät pareittain kokeilemaan VR-sovellusta sekä tekemään siihen liittyvät tehtävät. Tutkimuksessa yksi opiskelijoista käytti VR-laseja, kun toinen opiskelija yritti kuvailla kolmiulotteisista kappaleista koostuvaa rakennelmaa parilleen. Sovellusta käyttävä opiskelija yritti tällöin rakentaa kyseinen rakennelma virtuaali maailmaan. Rakennelmaa selittävän opiskelijan piti osata kielentää eli käyttää kappaleiden oikeita nimityksiä, jotta toinen opiskelija pystyi ymmärtämään tätä. Tutkimusten mukaan kielentäminen voi edesauttaa asioiden muistamista ja oppimista. Myös liikkuminen ja uusi oppimisympäristö voivat edesauttaa asioiden oppimista. Virtuaali maailmassa oleva opiskelija pystyy liikkumaan siellä joko itse fyysisesti liikkumalla tai käyttäen ohjaimia.</p> <p>Tutkimuksessa tutkittiin, kokivatko opiskelijat tätä lähestymistapaa tehokkaaksi ja mielekkääksi. Lisäksi selvitettiin, vaikuttiko heidän kolmiulotteinen hahmotuskyky kokemukseen. Koska kyseessä on kehittämistutkimus, opiskelijoilta kerättiin palautetta ja kehittämis ehdotuksia kokeilun jälkeen. Pääosin tehtävät sekä sovellus saivat positiivista palautetta ja hyviä kehittämis ehdotuksia.</p> <p>Tutkimustuloksista selviää, että opiskelijat pääosin pitivät VR-sovelluksesta ja siihen liittyvistä tehtävistä sekä kokivat ne hyödyllisiksi. Isoa osaa opiskelijoista tehtävät auttoivat hahmottamaan kolmiulotteisia kappaleita paremmin. Opiskelijat pitivät sovellusta käytettävyydeltään hyvänä ja antoivat kehittämis ehdotuksia koskien sekä sovellusta että tehtäviä.</p> <p>Tulevia tutkimuksia varten VR-sovellusta sekä tehtäviä voidaan parantaa palautteen perusteella. Teknologia taipuu hyvin paljon ja antaa mahdollisuutta soveltaa hyvin eri tavoin. Olemassa olevaan sovellukseen voidaan tuoda uusia työkaluja ja ominaisuuksia, jolloin sitä voidaan käyttää monipuolisemmin.</p>			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords matematiikka, avaruusgeometria, kehittämistutkimus, virtuaalitodellisuus, VR, kehollisuus			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited Helsinki, E-thesis			
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information			

Kiitokset

Lämpimät kiitokset kaikille ohjaajille tuesta graduprosessin aikana. Eri-tyisesti kiitos Antti Lähtevänojalle yksityiskohtaisesta palautteesta ja avusta VR-teknologian kanssa. Kiitos myös muille Mixed Reality Hub tutkimusryhmäläisille, Jani Holopaiselle ja Osmo Mattilalle, siitä, että mahdollistivat gradun onnistumisen. Heidän näkökulmat ja vinkit olivat hyvin arvokkaita varsinkin gradun alkutaipaleella.

Kiitos gradupiiriläisille avusta, seurasta ja tuesta pitkän graduprosessin aikana. Kiitos Melikelle, kun gradun alkuvaiheessa sai selviteltyä ajatuksia ääneen sekä arvokkaasta palautteesta. Samaten kiitos Minnalle, Olgalle, Pinjalle, Aleksille, Selinalle ja Heidille tuestanne graduprosessin eri vaiheissa.

Eriyiskiitos Katariinalle avusta gradun loppurutistuksessa sekä arvokkaista aamukahveista.

Sisältö

1	Johdanto	1
2	Teoreettinen tausta	3
2.1	Kehittämistutkimus	3
2.2	Virtuaalitodellisuus	6
2.3	Kielentäminen	8
2.4	Kehollinen oppiminen	9
2.5	System usability scale	10
2.6	Matematiikka oppiaineena	13
2.6.1	Geometria	13
3	Tutkimuskysymykset	16
4	Tutkimuksen toteutus	18
4.1	VR-sovellus	18
4.2	VR-tehtävät	21
4.3	Tutkimustilanne ja osallistujat	22
4.4	Aineistonkeruumenetelmät	24
5	Tutkimustulokset	25
6	Pohdinta	29
	Viitteet	31
	Liitteet	34

Luku 1

Johdanto

Teknologiaa aletaan käyttää joka vuosi enemmän opetuksessa ja pikkuhiljaa se tulee myös matematiikan opetukseen. Konkreettisena esimerkkinä tästä on matematiikan ylioppilaskirjoitukset, jotka on sähköistetty. Meillä on teknologiaa päivittäin ympärillämme, mutta pystyisimmekö käyttämään sitä opetuksessa vielä tehokkaammin.

Olen kohdannut monia hyviä matemaatikoita, joille kolmiulotteinen hahmottaminen on haastavaa, eivätkä tällä hetkellä käytössä olevat apukeinot näytä auttavan hahmotuskyvyn parantumisesta. Lähdin etsimään ratkaisua tähän ongelmaan. Miten kolmiulotteista hahmotuskykyä voitaisiin parantaa? Tähän on monia erilaisia ratkaisuvaihtoehtoja. Tällä hetkellä yleisesti koulussa ovat käytössä palikat, mutta niitä ei voida halkaista tai tutkia, miten joku kappale mahtuu toisen kappaleen sisään. Yksinkertaisesti niitä ei voida soveltaa kovin laajasti.

Toisena vaihtoehtona voisi olla nykyään kaupoista löytyvät, leikkimielissä käytettävät 3D-kynät. Niillä pystyy konstruoimaan kolmiulotteisia kappaleita piirtämällä niille pelkästään särmiä, mutta suoria kulmia tai muuten eksaktien kappaleiden piirtäminen vapaalla kädellä on haastavaa, jolloin huonosti konstruoitu kappale hämmentäisi lisää.

Kolmantena vaihtoehtona harkitsin lisättyä todellisuutta. Teoriani oli, että kun kappaleita pystyy konkreettisesti pitämään kädessä, se auttaa hahmottamaan niitä paremmin. Mikäli lisättyä todellisuutta käytettäisiin puhelimen avulla, tällöin kappaleita havainnollistetaan edelleen näytöltä, eli se ei toisi mitään lisäarvoa jo olemassa olevaan teknologiaan. Lisättyä todellisuutta voidaan myös havainnoida lasien avulla, jolloin kädet ovat vapaana

toimintaan. Lasien avulla voidaan havainnoida myös virtuaalitodellisuutta. Siinä käytetään yhtälailla laseja, mutta sen lisäksi päästään aivan omaan maailmaan, jossa voidaan määritellä omat fysiikan lait ja muodostaa mitä monimutkaisempia kappaleita ja soveltaa niitä monilla eri tavoilla.

Tämä oli lopullinen tavoite, kehittää oma maailma, jossa saisi rauhassa havainnollistaa kolmiulotteisia kappaleita ja missä suhteissa ne ovat toisiinsa ja mitä kaikkea niistä voidaankaan tehdä myös kehollisesti. Lähdin liikkeelle kuitenkin helpommasta tavoitteesta ja lähdin konstruoimaan uutta maailmaa pieni askel kerrallaan ja tutkimaan sitä, että kokevatko opiskelijat lähtökohtaisesti tällaista lähestymistapaa tehokkaaksi ja mielekkääksi.

Luku 2

Teoreettinen tausta

2.1 Kehittämistutkimus

Tässä työssä käytän tutkimusmenetelmänä kehittämistutkimusta, sillä tavoitteena on kehittää opetusta ja luoda uusi tapa havainnollistaa avaruusgeometriaa käyttäen uutta teknologiaa.

Kehittämistutkimuksesta on vakiintuneet englanninkieliset termit design research ja design-based research. Suomen kielessä termin kehittämistutkimus ohella käytetään myös termiä design-tutkimus. (Pernaa 2013)

Kehittämistutkimus on kehittynyt opetuksen tutkimusta kohtaan suunnatusta kritiikistä, jonka mukaan tutkijat ja kentällä toimivat opettajat eivät kommunikoi keskenään eivätkä tutkijat pysty tuottamaan opettajien työtä tukevaa käytännönläheistä tietoa (Juuti ja Lavonen 2006; Pernaa 2013). Näin ollen kehittämistutkimus kehittyi tutkimusmenetelmäksi, jossa opetusta kehitetään todellisista opetustilanteista nousevien tarpeiden mukaisesti (Pernaa 2013). Se on luonut tehokkaasti siltaa opetuksen tutkimuksen ja käytännön välillä (Anderson ja Shattuck 2012).

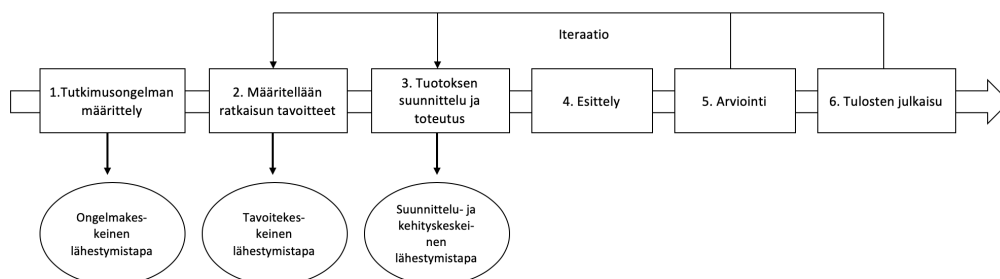
Kehittämistutkimuksella ei ole yksiselitteistä määritelmää, mutta Juuti ja Lavosen (2006) mukaan siinä esiintyy ainakin nämä kolme ominaispiirrettä:

1. kehittäminen on pääosin iteratiivista ja se syntyy muutoksen tarpeesta,
2. kehittämistutkimuksen lopputulos on käytettävä tuotos,
3. kehittäminen tuottaa opetusta ja oppimista edistävää tietoa.

Nämä kolme ominaispiirrettä yhdessä muodostavat tutkimusmenetelmän, jota kutsutaan kehittämistutkimukseksi. (Pernaa 2013; Juuti ja Lavonen 2006)

Peffer et al. (2008) kokoavat yhteen ja esittelevät yleiset käytänteet, miten kehittämistutkimuksessa tutkijan tulisi toimia. Vaiheita on yhteensä kuusi (kuva 1).

Ensimmäisessä vaiheessa tulee määritellä tutkimusongelma sekä ratkaisun arvo. Ongelma tulisi purkaa yksityiskohtaisesti, jolloin on helppo seurata tutkijan perusteluja ratkaisulle. Toisessa vaiheessa määritellään ratkaisun tavoitteet. Tulee kriittisesti arvioida, mikä on mahdollista toteuttaa ja mikä ei. Tätä varten tulisi olla tietoinen ongelman nykyisestä tilanteesta sekä sen olemassa olevista ratkaisuvaihtoehdoista ja niiden tehokkuudesta. Kolmannessa vaiheessa suunnitellaan ja kehitetään tuotos. Tuotos voi olla esimerkiksi malli, konstruktio tai menetelmä. Tässä tutkimuksessa kyseinen tuotos on ohjelma sekä tehtävät. Neljännessä vaiheessa toteutetaan tuotoksen esittely ongelman ratkaisussa. Viidennessä vaiheessa arvioidaan tuotosta ja sitä, kuinka se tukee tarvittavaa ratkaisua ongelmaan. Arviointi voidaan suorittaa esimerkiksi kyselyiden muodossa tai jonkun tietyn mittariston avulla. Tutkijat voivat päättää tässä vaiheessa, haluavatko he jatkaa ratkaisun parantelemista ja palata kolmanteen vaiheeseen eli iteroida vai jätetäänkö tuotoksen parantelu seuraavaan projektiin. Kuudennessa vaiheessa julkaistaan tulokset. On tärkeää esitellä julkisesti ongelma ja tutkijoiden ehdottama ratkaisu, sen tehokkuus ja tuotos. Tulokset voidaan julkaista artikkelin muodossa, joka jaetaan muille asiantuntijoille relevanteissa lehdissä tai muilla julkaisualustoilla. (Peffer et al. 2008)



Kuva 1: Peffer et al. (2008) mukainen kehittämistutkimuksessa tutkijan toimintakaavio

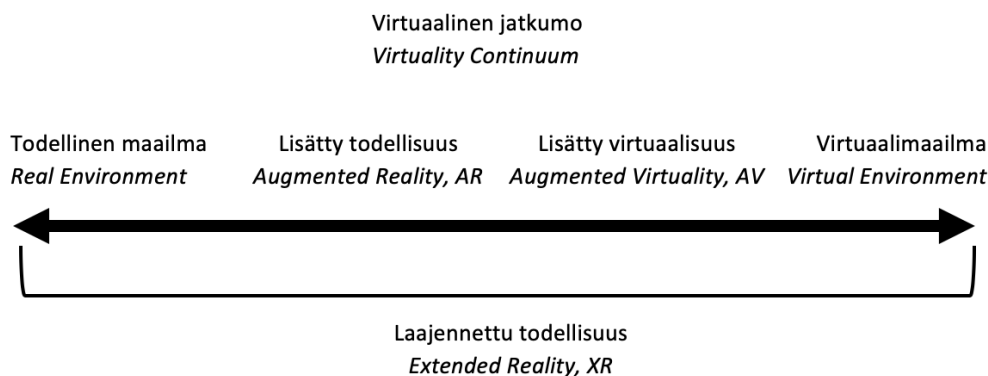
Näiden vaiheiden järjestys on ehdotus eikä oleteta, että kaikki tutkijat seuraavat kyseistä järjestystä. Tutkimuksen voi aloittaa mistä vaiheesta tahansa ja edetä siitä eteenpäin. Tällöin tutkimusongelman fokus saattaa olla erilainen. Mikäli aloittaa tutkimuksen ensimmäisestä vaiheesta, tällöin kyseessä on ongelmakeskeinen lähestymistapa. Mikäli tutkimus aloitetaan toisesta vaiheesta, tällöin kyseessä voi olla tavoitekeskeinen lähestymistapa, jolloin tavoitteena on kehittää valmis tuotos. Mikäli tutkija aloittaa kolmannesta vaiheesta, tällöin kyseessä on suunnittelu- ja kehityskeskeinen lähestymistapa. Siinä tapauksessa saattaa olla kyse siitä, että on valmis tuotos, mutta ei olla vielä mietitty minkä konkreettisen ongelman se ratkaisee. (Peffer et al. 2008)

Tässä tutkimuksessa on ongelmakeskeinen lähestymistapa, sillä lähtökoh-
tana on ollut ongelma kolmiulotteisessa hahmotuksessa, johon on lähdetty
etsimään ratkaisua. Sen jälkeen ollaan edetty kaavion mukaisesti.

2.2 Virtuaalitodellisuus

Virtuaalitodellisuudella (*virtual reality, VR*) tarkoitetaan tietokonesimulaatiolla tuotettua ympäristöä, johon käyttäjä on täysin uppoutunut, ja jossa hän pystyy olemaan vuorovaikutuksessa keinotekoisien maailman kanssa. VR on osa laajempaa virtuaalista jatkumoa. (Milgram ja Kishino 1994)

Milgram ja Kishino (1994) määrittelevät virtuaalisen jatkumon (*virtuality continuum*) janana, jossa yhdessä päädyssä on todellinen maailma (*real environment*) ja toisessa päädyssä virtuaalimaailma (*virtual environment*). Andrews et al. (2019) mukaan viime aikoina on tullut käyttöön kattotermi laajennettu todellisuus (*extended reality, XR*), joka pitää sisällään koko virtuaalisen jatkumon, todellisesta maailmasta virtuaalimaailmaan. Tässä tutkimuksessa sovellan Milgram ja Kishino (1994) ja Andrews et al. (2019) määritelmiä, jolloin laajennettuun todellisuuteen kuuluvat, kuvan 2 mukaisesti, edellisten lisäksi muun muassa lisätty todellisuus (*augmented reality, AR*) sekä lisätty virtuaalisuus (*augmented virtuality, AV*).



Kuva 2: Virtuaalinen jatkumo

Virtuaalisen jatkumon yhdessä laidassa oleva todellinen maailma määritellään Milgram ja Kishino (1994) mukaan siten, että siellä on oikeita esineitä (*real objects*), joilla on todellinen objektiivinen olemassaolo. Seuraavaksi jatkumossa tulee lisätty todellisuus (AR). Sillä on monia eri määritelmiä lähteestä riippuen, ja jotkut määritelmät vaativat päähän laitettavien lasien eli HMD:n (*Head mounted display*) käyttöä. Azuma (1997) määrittelee AR:n laajemmin, jolloin se ei rajoita mihinkään tiettyyn teknologiaan. Määritelmän mukaan AR sisältää kolme ominaisuutta:

1. yhdistää todellisuutta sekä virtuaalisuutta,
2. on interaktiivista oikeassa ajassa sekä
3. toiminta näyttäytyy kolmiulotteisena.

Tällöin siis reaaliaailman päälle sijoitetaan virtuaalisia objekteja esimerkiksi puhelimen kameran avulla tai HMD:n avulla. Viime aikoina AR on noussut julkisuuteen esimerkiksi peliteollisuudessa PokemonGo-pelin (*PokemonGo* 2020) avulla. Muita AR sovelluksia on esimerkiksi GeoGebra AR (*GeoGebra AR* n.d), jota käytetään myös puhelimen tai tabletin kameran avustuksella.

Lisätty virtuaalisuus (AV) on näistä termeistä selvästi vähiten tunnettu sekä vähiten käytetty teknologia. AV sisältää enemmän virtuaalisuutta ja vähemmän reaalisuutta, kuten jatkumosta voidaan havainnoida. AV-teknologiaa voidaan soveltaa esimerkiksi yrityskäyttöön. Regenbrecht et al. (2004) esittelevät mahdollisuuden virtuaalikonferensseihin AV-teknologiaa käyttäen. Konferenssia varten on luotu erillinen virtuaalinen tila, jonne tapaamisiin tulevat henkilöt ilmestyvät virtuaalisesti. Virtuaalisen pöydän ääreen ilmestyy videokuva konferenssiin osallistuvista henkilöistä ja näin he voivat keskustella saman pöydän ääressä, vaikka sijaitisivat fyysisesti toisella puolella maailmaa.

Virtuaalisen jatkumon toisessa laidassa on täysin virtuaalinen ympäristö eli virtuaalitodellisuus. Virtuaalitodellisuuden käyttö vaatii HMD:n käyttöä. Tässä tutkimuksessa käytettiin HTC Vive merkkisiä VR-laseja. VR:n käyttöä opetuksessa on tutkittu jo monia vuosikymmeniä. Esimerkiksi jo McLellan (1996) kokosi artikkeliinsa perusteellisen katsauksen virtuaalitodellisuuden käytöstä opetuksessa 1960-luvulta lähtien. Bowman et al. (1999) toteavat tutkimuksessaan, että virtuaalinen oppimisympäristö saattaa motivoida ja edesauttaa oppimista.

Nykyään virtuaalitodellisuutta käytetään opetuksessa suurimmaksi osaksi simulaattoreissa sekä työturvallisuutta parantavissa projekteissa. Helsingin yliopistolla on joitakin kursseja, jotka käyttävät VR-teknologiaa, mutta niitä on hyvin vähän. Syynä tähän saattaa olla laitteiston korkea hintataso sekä asinatuntijoiden vähyys. Tällä hetkellä ei vaikuta olevan paljon koulutuksia VR-teknologian käytöstä opetuksessa ja sen soveltamista, teknologian oppiminen vaatii itsenäistä perehtymistä.

2.3 Kielentäminen

Matematiikan tutkimuksissa kielentämisen käsite on ollut käytössä ainakin 1990-luvulta lähtien (Swain 2006). Matemaattinen kielentäminen tarkoittaa matemaattisen ajattelun ilmaisemista kielen avulla (Joutsenlahti ja Rättyä 2015). Joutsenlahti (2003) on kuvannut kielentämisen ainedidaktisessa tutkimuksessa käsitteen konstruointiprosessina, jolloin opiskelijat joutuvat jäsentämään sekä refleктоimaan matemaattista ajatteluaan. Samalla opiskelijat voivat verrata omaa käsitystä muiden opiskelijoiden käsityksiin käsitteestä sekä tuoda esille omat uskomuksensa. Kielentämisen tärkein merkitys on kommunikointi muiden opiskelijoiden sekä opettajan kanssa.

Kielentämisen käsite voidaan jakaa Joutsenlahti ja Rättyä (2015) mukaan neljään kieleen: luonnollinen kieli, symbolikieli, kuviokieli sekä taktiilinen toiminnan kieli. Luonnollinen kieli on opiskelijan äidinkieli, se voi olla puhuttua tai kirjoitettua kieltä. Symbolikieli on matemaattisten symbolien avulla ilmaistua kieltä. Kielet voivat mennä päällekkäin, sillä esimerkiksi matemaattisten käsitteiden määritelmät ja lausekkeet voidaan yleensä esittää sekä luonnollisella kielellä, symbolikielellä että niiden yhdistelmällä (Joutsenlahti ja Tossavainen 2018). Kuviokieli on piirrosten tai muiden kuvien avulla ilmaistua matematiikkaa. Taktiilinen toiminnan kieli on matematiikan tekemistä liikkuen tai apuvälineiden avulla, kuten esimerkiksi murtolukupalojen käyttö tai 3D-simulaatiot, mitkä auttavat havainnollistamaan muita kieliä. Näitä kaikkia kieliä tulisi käyttää yhdessä, jolloin opettaja pystyy tarkastelemaan mahdollisia ongelmia sekä vääriä johtopäätöksiä tarkemmin (Joutsenlahti ja Rättyä 2015).

Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet 2014 (2015) on vuosiluokille 7-9 asetettu yhdeksi matematiikan opetuksen tavoitteeksi "kannustaa oppilasta harjaantumaan täsmälliseen matemaattiseen ilmaisuun suullisesti ja kirjallisesti". Lisäksi opetussuunnitelman perusteissa on todettu, että matematiikassa on tärkeää kehittää myös viestintä-, vuorovaikutus- ja yhteistyötaitoja.

2.4 Kehollinen oppiminen

Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet 2014 (2015) mukaan konkreettisen ja toiminnallisuuden tulisi olla keskeinen osa matematiikan opetusta ja opiskelua. Monesti luonnontieteissä toiminnallisuus unohtuu opetuksesta, jolloin kehoa on pidetty oppimisen kannalta merkityksettömänä. Viime vuosikymmeninä on alettu tutkimaan fyysisen aktiivisuuden vaikutusta aivoihin ja oppimiseen laajemmin, mutta kehollisuuden vaikutusta luonnontieteiden opetuksessa on kuitenkin vielä vähän tutkimustietoa.

Anttila et al. (2013) mukaan kehollinen oppiminen tapahtuu koko kehossa sekä ihmisten välisessä sosiaalisessa ja fyysissä todellisuudessa. Kehollinen toiminta on tärkeä osa oppimistapahtumaa. Kehollinen toiminta tarkoittaa liikkeen lisäksi myös kehossa tapahtuvia aistimuksia, kokemuksia ja fysiologisia muutoksia.

Aikaisemmissa tutkimuksissa on havaittu, että lasten liikkuminen opituntien aikana parantaa akateemisia saavutuksia (Donnelly et al. 2016). Kontra et al. (2015) toteavat, että lyhyt kehollinen kokemus parantaa oppimista. Näin ollen luonnontieteiden opetuksessa tulee ottaa huomioon kehollisuus osana oppimisprosessia, sillä fyysinen toiminta, joka on yhteydessä opittavaan sisältöön, voi edesauttaa oppimista. Toisaalta opittavan sisällön kannalta myös merkityksetön liike, kuten purukuminen syöminen (Morgan, Johnson ja Miles 2014) tai seisominen (Mehta, Shortz ja Benden 2015) voi edesauttaa asian oppimista ja muistamista.

Moore ja Linder (2012) tutkivat tanssin yhdistämistä geometrian opetukseen. Tutkimuksessa opiskelijoiden tuli tehdä ryhmissä tanssi, joka käsiteli sillä hetkellä opeteltavia geometrian käsitteitä. Lopulta sekä opettajien, että opiskelijoiden mielestä opiskelijoiden geometrian käsitteiden ymmärrys syveni. Smeds, Jeronen ja Kurppa (2015) toteavat, että uudet oppimisympäristöt ja opetusvälineet edesauttavat asioiden muistamista, oppimista ja ymmärrystä.

Virtuaalitodellisuudessa kehollisuutta käytetään laajasti. Siinä pääsee tutustumaan uuteen opetusympäristöön, opetusmenetelmään sekä opetusvälineeseen. Kehollinen toiminta tapahtuu liikkeen lisäksi myös ihmisten välisessä toiminnassa. Tässä tutkimuksessa toiminnallisuus on vahvasti yhteydessä opittavaan sisältöön.

2.5 System usability scale

Brooke (1996) toteaa, että jokaisen järjestelmän käytettävyyttä tulisi arvioida sen suhteen, mihin sitä on tarkoitettu sovellettavan eikä muiden järjestelmien suhteen. Hän loi System Usability Scale -mittarin (SUS), joka vastaa tähän tarkoitukseen. Siinä on yksinkertaisesti 10 järjestelmän käytettävyyttä koskevaa väitettä, jotka pitää arvioida viisi asteisella likertasteikolla eli antaa arvosana yhdestä viiteen asteikolla täysin eri mieltä - täysin samaa mieltä. Alunperin Brooke (1996) teki yhden tutkimuksen, jonka perusteella hän valitsi väitteet tähän kyselyyn, mitä on pidetty epäluotettavana lähteenä mittariston tekemiselle. Väitteitä oli alunperin 50 ja tutkimukseen osallistui 20 henkilöä. Tutkimuksen lopuksi saatiin valittua 10 väitettä, ja niitä on tämän jälkeen monesti testattu ja ne on todettu hyvin toimiviksi järjestelmän käytettävyyden arvioimiseen. James R. Lewis ja Sauro (2009) suosittelevat artikkelissaan SUS-kyselyn käyttämistä käyttäjäkokemuksen arvioimiseen. Kyselyssä joka toinen väite on positiivinen ja joka toinen negatiivinen. Kysymykset kattavat laajasti eri näkökulmia järjestelmän käytettävyydessä kuten tuen tarvetta, koulutusta sekä haastavuutta. Esimerkiksi kyselyn viides väite on "Mielestäni sovelluksen eri toiminnot olivat helposti löydettävissä", mikä on positiivinen väite ja koskee sovelluksen toimintoja. Kuudes väite taas on "Mielestäni sovelluksen käyttäminen ei ollut johdonmukaista", mikä on negatiivinen väite.

Kyselyyn tulee vastata sen jälkeen kun on ollut mahdollisuus kokeilla ja perehtyä järjestelmään tai sovellukseen. Vastaajien tulisi vastata väitteisiin heti ensimmäisen mielikuvan perusteella ja olla sen enempää harkitsematta vastausta. Jokaiseen väitteeseen tulee vastata, ellei johonkin väitteeseen osata vastata, tulee vastaukseksi merkitä keskimäinen vastausvaihtoehto. Yksittäisen väitteen vastaus ei itsessään vielä merkitse mitään, vaan koko kyselyn vastaukset tulee analysoida yhtenä kokonaisuutena. Vastaukset analysoidaan niin, että jokaisesta väitteestä voi saada pisteitä nollasta neljään. Parittomista väitteistä saa sen verran pisteitä kuin mihin kohtaan on laitettu vastaus sekä siitä vähennettynä yksi. Parillisista väitteistä pisteitä saa viidestä vähennettynä se vastaus jonka on antanut. Lopuksi tulos kerrotaan luvulla 2,5, jolloin saadaan loppulinen SU-tulos, joka on muunnettu 40-portaisesta asteikosta 100-portaiseen asteikkoon. (Brooke 1996)

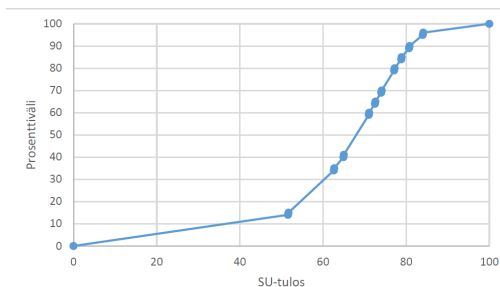
Tulee kuitenkin huomata, että lopullinen SU-tulos ei ole prosenttiluku.

Se antaa viitteellisen käyttäjäkokemuksen, eli 0 tarkoittaa, että oli hyvin huono käyttäjäkokemus ja 100 tarkoittaa sitä, että oli täydellinen käyttäjäkokemus. James R Lewis ja Sauro (2018) toteavat, että jos luku on 68, se tarkoittaa, että oli keskivertainen käyttäjäkokemus ja 80 tarkoittaa, että oli hyvä kokemus. Riippuen tutkimuksesta, nämä luvut saattavat hieman vaihdella, mutta eivät merkittävästi.

SU-tulos ei itsessään sano vielä mitään, vaan sitä pitää verrata joko toiseen käyttökokemukseen tai normaaliin (James R Lewis ja Sauro 2018). Usein samaa järjestelmää testataan moneen kertaan ja arvioidaan SUS-mittaristolla, jolloin pystyy näkemään onko käyttäjäkokemus parantunut vai ei. Mikäli järjestelmää tai sovellusta testataan vain kerran, tällöin sitä verrataan normaaliin käyttäjäkokemukseen. Verratakseen tulosta normaaliin, SU-tulos kannattaa muuntaa prosenttiluvuksi, jolloin nähdään miten se sijoittuu yleisesti muiden järjestelmien käyttäjäkokemusten suhteen. Kuvassa 3 on James R Lewis ja Sauro (2018) esittelemä muunnostaulukko 3a SU-tuloksesta prosenttilukuihin. Se on luotu monien tutkimuksien ja käyttäjien vastausten perusteella, minkä mukaan keskivertainen käyttäjäkokemus saadaan silloin kun SU-tulos on 68. Taulukosta tehty kuvaaja 3b havainnollistaa sen, miten SU-tuloksen suhde prosenttilukuihin muodostuu. Suurten SU-tulosten kohdalla pienikin ero vaikuttaa suuresti siihen, mihin prosenttiväliin käyttäjäkokemus loppujen lopuksi sijoittuu.

SU-tulos	Prosenttiväli
84,1 – 100	96 – 100
80,8 – 84,0	90 – 95
78,9 – 80,7	85 – 89
77,2 – 78,8	80 – 84
74,1 – 77,1	70 – 79
72,6 – 74,0	65 – 69
71,1 – 72,5	60 – 64
65,0 – 71,0	41 – 59
62,7 – 64,9	35 – 40
51,7 – 62,6	15 – 34
0 – 51,6	0 – 14

(a) Taulukko



(b) Kuvaaja

Kuva 3: James R Lewis ja Sauro (2018) esittelemä muunnostaulukko SU-tuloksesta prosenttilukuihin sekä siitä tehty kuvaaja

SUS-mittaristoa pidetään hyvänä mittaristona sen luotettavuuden ja toistettavuuden takia. Mittariston luotettavuutta voidaan mitata Cron-

bachin alfan avulla, joka on tyypillisesti 0 ja 1 välillä. Mitä suuremmasta luvusta on kyse, sitä luotettavammat vastaukset kyselystä on saatu eli vastaukset korreloivat keskenään. Luvun tulisi olla kuitenkin suurempi kuin 0,7, jotta tulokset olisivat hyväksyttäviä.

Tässä tutkimuksessa kyselyn väitteet on käännetty vapaasti suomeksi ja käytetty sanan "system", suoran käännöksen "järjestelmän", sijaan sanaa "sovellus", mikä ei James R. Lewis ja Sauro (2009) mukaan vaikuta kyselyn tuloksiin.

2.6 Matematiikka oppiaineena

Matematiikan opetusta yläkoulussa ohjaa perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet (*Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet 2014* 2015). Uuden perusopetuksen opetussuunnitelman käyttöönotto aloitettiin syksyllä 2016 pääsääntöisesti vuosiluokille 1-6. Muille luokka-asteille annettiin kolmen vuoden siirtymäaika, jonka päätteeksi vuonna 2019 kaikilla peruskoulun asteilla tuli olla uusi perusopetuksen opetussuunnitelma käytössä (*Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet 2014* 2015). Opetussuunnitelman 2014 keskeisinä tavoitteina on muun muassa vahvistaa oppilaan aktiivisuutta ja mahdollistaa onnistumisen kokemukset kaikille opiskelijoille (*Perusopetuksen opetussuunnitelman ydinasiat* n.d.).

Opetussuunnitelman perusteiden (2014) oppiainekohtaisessa osiossa sanotaan, että matematiikan opetuksen tehtävänä on esimerkiksi luoda pohja matemaattisten käsitteiden ymmärtämiselle ja kehittää kykyä ratkaista ongelmia. Keskeisenä osana opetusta pidetään toiminnallisuutta ja konkretia sekä sen tukemista teknologiaa hyödyntäen. Vuosiluokkien 7-9 kohdalla mainitaan, että matematiikan opetuksen tehtävänä on kehittää oppilaiden yhteistyötaitoja. (*Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet 2014* 2015)

Oppimisympäristöissä ja työtavoissa painotetaan konkretian, havainnollistamisen, yhteisöllisen ongelmanratkaisun sekä teknologian (kuten dynaamisten geometriaohjelmistojen) käyttöä. Yhtenä motivoivana työtapana tuodaan esille oppimislejät. Geometrian oppimistavoitteissa mainitaan geometrian käsitteiden sekä niiden välisten yhteyksien ymmärtäminen. Geometriassa tulisi myös harjoitella geometrasta konstruointia sekä tutkia kolmiulotteisia kappaleita. (*Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet 2014* 2015)

Tutkielmassani yritän soveltaa näitä periaatteita ja työtapoja mahdollisimman kattavasti. Opiskelijat pääsevät käyttämään dynaamista teknologiaa sekä toiminnallisesti ratkaisemaan annettuja ongelmia käyttäen geometrian käsitteitä.

2.6.1 Geometria

Geometriaa ja varsinkin geometrisia kaavioita on pidetty hankalana matematiikan osa-alueena jo hyvin pitkään. Aikoinaan geometrinen kaavioiden piirtämistä välteltiin, uskoen niiden hämmentävän opiskelijoita. Kaa-

viot tarjosivat empiirisen kokemuksen, mutta opettajat vaativat tehtäviä ratkaistavaksi ainoastaan deduktiivista päättelyä käyttäen. Osa kasvatus-tieteellisistä tutkijoista piti kuitenkin ongelmana sitä, että opetuksessa ei osattu yhdistää graafista esiintymismuotoa teoriaan. He pitivät geometristen kaavioiden puuttumista ongelmallisena, sillä niitä pidettiin tärkeänä osana geometriaa sekä ne saattoivat olla hyvin olennaisia. (Laborde et al. 2006)

Duval (1998) erotteli kolme erilaista kognitiivista prosessia jotka liittyvät geometristen taitojen oppimiseen: visualisointiprosessi (*visualisation processes*), rakennusprosessi työkalujen avulla (*construction processes by tools*) sekä perustelut (*reasoning*). Visualisointiprosessissa voidaan esimerkiksi havainnollistaa jokin matemaattinen lause. Havainnollistamiatapoja voi olla useita ja taitoa havainnoida ja visualisoida monin eri tavoin onkin kannattavaa kehittää. Rakennusprosessissa tuotettu malli voi toimia representaationa ja havainnollistuksena, jotta saadaan oikea käsitys mallinnettavasta käsitteestä tarvitaan kuitenkin lisäksi tietoa siitä, millaisessa suhteessa matemaattinen teoria ja malli ovat toisiinsa. Perusteluja tarvitaan laajentamaan esimerkiksi todistuksen ymmärrystä. Duvalin kolmella kognitiivisella prosessilla on omat funktionsa, mutta ne ovat hyvin läheisesti yhteydessä toisiinsa sekä kaikkia näitä kolmea tarvitaan geometristen taitojen oppimista varten.

Fischbein (1993) esitteli toisen psykologisen lähestymistavan samoihin aikoihin 90-luvulla. Hänen mukaansa geometria koostuu kahdesta osasta: figuraalisesta eli kuviollisesta ja käsitteellisestä osasta. Näiden kahden puolen yhdistäminen ei kumminkaan ole helppoa ja se vaatii paljon harjoitusta. Fischbeinin mukaan geometrian haastavuus voidaan selittää sillä, että figuraalisen ja käsitteellisen osan yhdistäminen on hankalaa ja figuraalinen käsite ei kehity luonnollisesti.

Molemmissa lähestymistavoissa geometrinen visualisointi ja havainnollistaminen ovat keskeisessä ja tärkeässä roolissa. Näin ollen tätä osa-aluetta ei voi sivuttaa noin vain, vaan pitää etsiä monia tapoja visualisoida geometriaa. Visualisoinnin lisäksi kielellinen havainnollistaminen on yhtä tärkeässä roolissa. Laborde et al. (2006) mukaan geometrian opetus perustuu kahden rekisterin pohjalle: kielen ja kaavioiden. Kielen tarkoitus on eksakteja termejä käyttäen selittää geometriset objektit sekä niiden relaatiot, kun kaaviot voivat olla hyvin epämääräisiä (Laborde et al. 2006). Usein opiske-

lijat kuvittelevat, että geometrisista kaavioista selviää kaikki tarpeellinen pelkästään kuviota katsomalla (Chazan 1993).

Geometriaa opetettaessa sen kaksijakoisuus joskus unohdetaan. Jotta geometrian opetus huomioisi laajasti sen eri osa-alueita, Laborde et al. (2006) mukaan sen tulisi sisältää:

1. spatiaalisten eli avaruudellisten graafisten relaatioiden sekä teoreettisten geometristen relaatioiden erottelun,
2. liikkumisen teoreettisten objektien ja niiden spatiaalisten representaatioiden välillä,
3. geometristen relaatioiden tunnistamisen geometrisissa kaavioissa,
4. kaikkien mahdollisten geometristen kaavioiden kuvittelemisen liittyen geometriseen objektiin.

Tämän geometrian oppimis- ja opetuskäsityksen takia osa tutkijoista on keskittynyt tutkimaan tietokoneiden tarjoamaa graafista representaatiota. (Laborde et al. 2006)

Geometrian hahmottamiseen yläasteella käytetään tällä hetkellä apuvälineinä pääasiassa dynaamista geometriaohjelmistoa sekä piirroksia. Tarvittaessa saatetaan ottaa käyttöön myös fyysisiä kolmiulotteisia kappaleita, kuten kuutioita, pyramideja sekä palloja. Tietokoneiden tarjoamat representaatiomahdollisuudet ovat hyvin laajat ja hyvin monipuolisesti sovellettavissa. Laborde et al. (2006) listasi kohtia, joita geometrian opetuksen tulisi sisältää, jotta se olisi tarpeeksi monipuolinen sekä tehokas, tietokoneiden tarjoamat mahdollisuudet sallivat näiden soveltamista.

Luku 3

Tutkimuskysymykset

Tässä tutkimuksessa tavoitteena on kehittää uusi tapa havainnollistaa avaruusgeometrisia kappaleita. Havainnollistaminen toteutetaan virtuaalitodellisuuteen tehdyllä sovelluksella.

Kolmiulotteinen hahmotuskyky vaikuttaa olevan monelle hyvin haastavaa. Tavoitteena on ottaa käyttöön uusi työkalu, joka helpottaa kolmiulotteisten kappaleiden hahmottamista. Tavoitteena on, että siitä tulisi uusi tapa havainnollistaa geometriaa kurssin opetuksessa. Näin apua kaipaavat saisivat kokea erilaisen havainnointiympäristön, joka voisi auttaa hahmotamiseen ja ymmärryksen parantumiseen. Tutkimuskysymykset ovat seuraavanlaiset:

1. Miten opiskelijat kokevat virtuaalitodellisuuden käytön avaruusgeometrian opetuksessa?
2. Miten sovellusta ja tehtäviä voidaan parantaa opiskelijoiden mielestä?
3. Millä tavalla opiskelijoiden osaaminen vaikuttaa kokemukseen siitä, kuinka hyödyllisenä he kokivat sovelluksen?

Tutkimuksessa avaruusgeometriaa havainnollistetaan virtuaalitodellisuuden tehdyllä sovelluksella ja siihen liittyvillä tehtävillä. Opiskelijat pääsevät testaamaan sovellusta VR-lasien avulla. Siellä heillä on käytössä kolmiulotteisia kappaleita, joita liikuttelemalla, suurentamalla ja pienentämällä sekä kasaamalla he pääsevät rakentelemaan erilaisia rakennelmia kaverin avulla. Yhden opiskelijan ollessaan virtuaalitodellisuudessa, toinen opiskelija ohjeistaa häntä, mitä tämän tulisi tehdä. Tehtäviä parannetaan opiskelijoilta saadun palautteen mukaan.

Ennen kuin opiskelijat pääsevät kokeilemaan sovellusta, he vastaavat kyselyyn, jossa katsotaan heidän nykyistä hahmottamiskykyä. Opiskelijoiden kokeiltua sovellusta ja tehtyä tehtävät, heiltä kysytään kysymyksiä liittyen sovellukseen ja tehtäviin ja heidän parannusehdotuksia liittyen niihin.

Luku 4

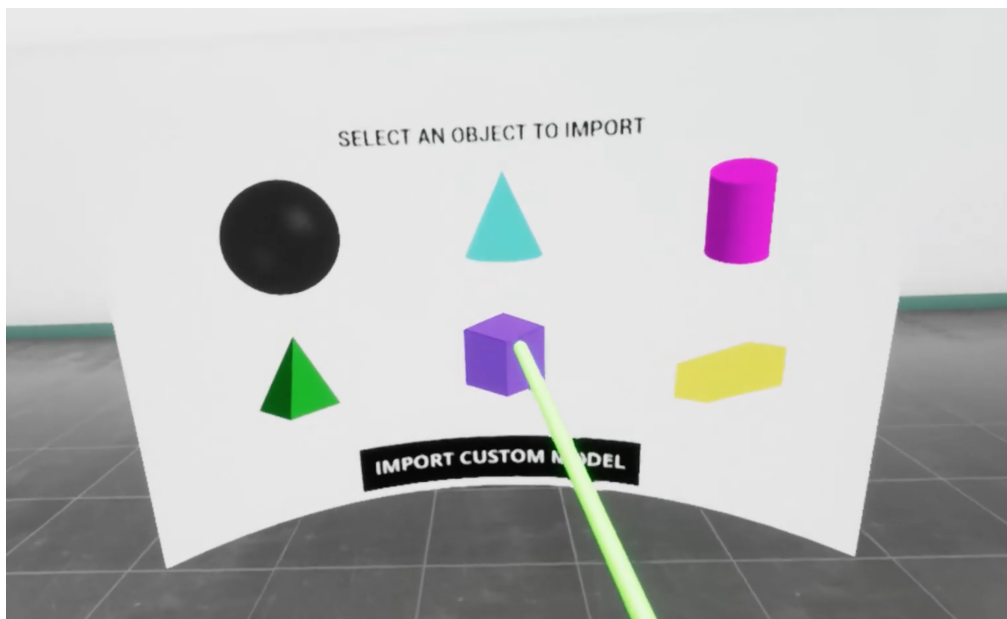
Tutkimuksen toteutus

4.1 VR-sovellus

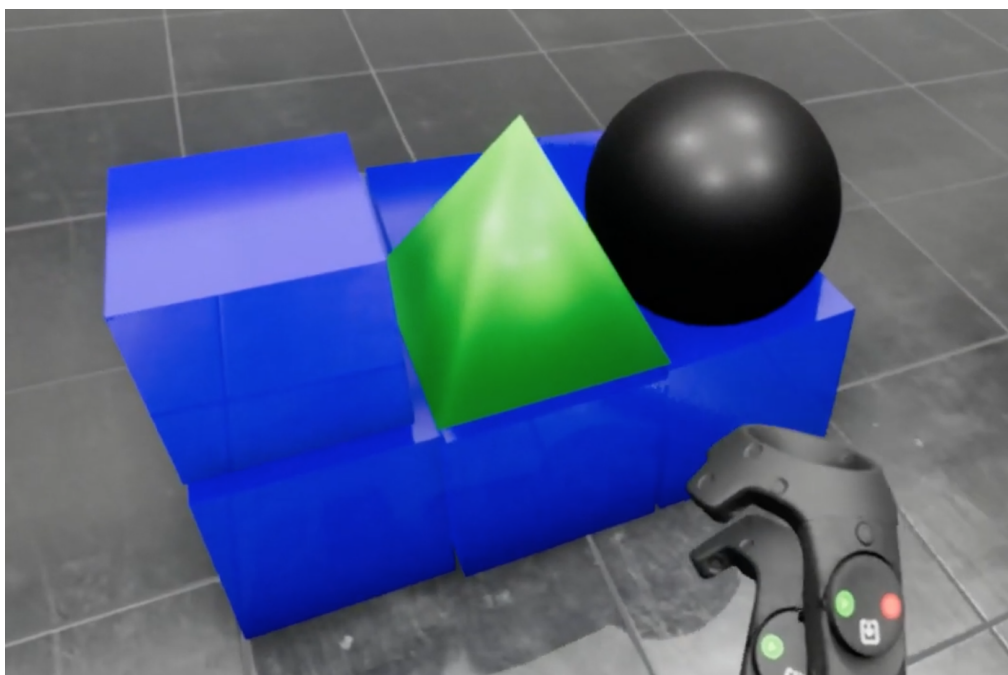
Helsingin yliopistolla on tutkimusryhmä Mixed Reality Hub (MRHub), joka tarjoaa apua virtuaalitodellisuuden, lisätyn todellisuuden sekä yhdistetyn todellisuuden käytössä muun muassa opetuksessa. (*Mixed Reality Hub* n.d.)

Tutkimuksessa käytettiin MRHubin Mrs. Tudio -alustaa, joka on Zoan Oy:n ja Helsingin yliopiston yhteistyössä tekemä alusta, jota käytetään eri asteiden opetuksessa ja oppimisessa. Zoan on vuonna 2010 perustettu yritys, joka omien nettisivujen (*Zoan* n.d.) mukaan tarjoaa muun muassa koulutukseen liittyviä kokemukseen perustuvia palveluita. Mrs. Tudio -alusta on tehty Unreal Engine -pelimoottorilla, jota hyödyntäen lisäksi tarvittavia lisäosia valmiiseen alustaan. Unreal Engine on ilmainen pelimoottori, jolla saa tehtyä kolmiulotteisia pelejä sekä sen avulla voidaan hyödyntää VR-tekniologiaa. Käytin Mrs. Tudio -alustan lisäksi 3D-mallinnusohjelmaa Blender sekä vuorovaikutteista matematiikkaohjelmistoa Geogebraa. Geogebraa käytettiin luomaan sovelluksessa avautuvan valikon kuvia kolmiulotteisista kappaleista, kuva 4. Myös alkutehtävien kolmiulotteiset kuviot on luotu Geogebralla, esimerkki kuvassa 9.

Blender on ilmainen open source -ohjelma, jolla pystyy luomaan kolmiulotteisia kappaleita. Sen avulla on luotu kaikki lopullisessa ohjelmassa käytettävät avaruusgeometriset kappaleet, kuten kuutio, pallo, pyramidi, ympyrälieriö, ympyräkartioiden sekä suorakulmainen särmiö, kuva 5. Näillä sovelluksilla tehdyt osat vein pelimoottoriin ja lisäksi ne valmiiseen alustaan. Siellä kuviot tuli skaalata oikean kokoisiksi ja näköisiksi.

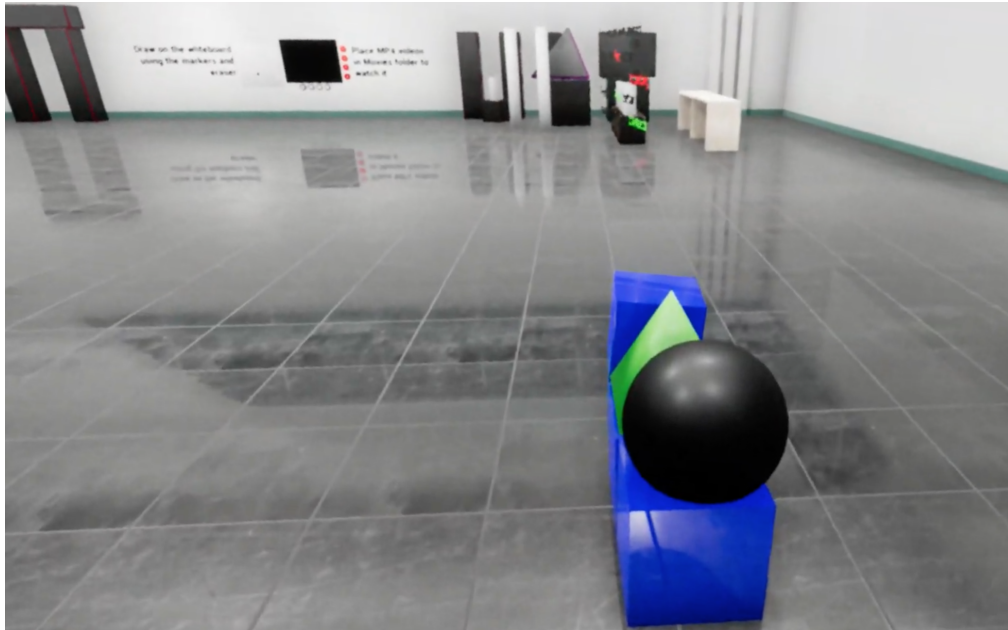


Kuva 4: Valikosta avautuu kaikki saatavilla olevat kappaleet. Kappaleiden kuvat on luotu Geogebra-ohjelmistolla.



Kuva 5: Valikosta valitut kolmiulotteiset kappaleet ovat luotu Blender-ohjelmalla

VR-sovellus oli hyvin yksinkertainen. Laboratorioympäristöön, kuva 6, oli luotu valikko, josta sai valita haluamansa kappaleen kuudesta vaihtoehdosta. Jokaista kappaletta oli rajoittamaton määrä, eli niitä sai otettua valikosta niin monta kuin oli tarve. Kun kappaleen oli ottanut valikosta, sitä ei voinut enää poistaa. Kappaletta pystyi liikuttelevaan, suurentamaan ja pienentämään.

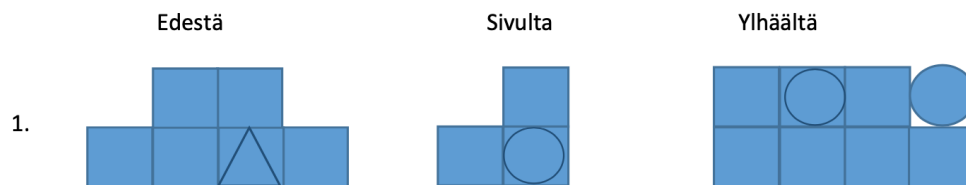


Kuva 6: Mrs. Tuodio -alustan valmis laboratorioympäristö

Tutkimuksessa VR-sovellusta käytettiin VR-lasien avulla (HTC Vive), jotka oli yhdistettynä tietokoneeseen. Samassa testiympäristössä oli käytössä kahdet lasit, mikä mahdollisti kahden parin työskentelyn samanaikaisesti. Opiskelijalle laitettiin lasit päähän, minkä jälkeen hän pystyi liikkumaan vapaasti tilassa sekä ohjaimien avulla. Ohjaimien avulla myös liikuteltiin kappaleita sovelluksessa.

4.2 VR-tehtävät

Tutkimuksessa opiskelijat pääsivät ratkomaan tehtäviä käyttäen samalla VR-sovellusta. Opiskelijat jakaantuivat pareittain ja jokaiselle parille annettiin tehtäviä, joita heidän piti tehdä. Toinen parista selitti rakennelman kuviota parilleen, jonka piti rakentaa kyseinen kuvio ohjeiden mukaan VR-lasit päässä. Kuvassa 7 on esiteltynä yksi tehtävistä, jossa on kuvio kuvattuna kolmesta eri suunnasta ja opiskelijan tehtävänä on selittää tämä kuvio parilleen, jotta hän pystyisi rakentamaan samanlaisen kolmiulotteisessa ympäristössä.



Kuva 7: VR-tehtävä

Liitteenä 3 on loput tehtävistä. Osa tehtävistä on kuvattuna kolmesta eri suunnasta, edestä, sivulta ja ylhäältä, osa vain kahdesta eri suunnasta, esimerkiksi vain edestä ja sivulta. Tehtävien ideat on otettu oppikirjoista Halinen et al. (2016), Huippu 3, sekä Latva, Tolvanen ja Tuomaala (2011), Kolmio 3, ja lopulliset tehtävät on sovellettu kirjojen malleista. Yhdellä henkilöllä oli kahdeksan minuuttia aikaa selittää kuvio parilleen, mikäli hän ehti selittää tämän kuvion, hän saa seuraavan kuvion selitettäväkseen. Tehtävät jaettiin yksi kerrallaan, jotta opiskelijoiden keskittyminen pysyisi yhdessä tehtävässä. Tarkoituksena oli paneutua jokaiseen tehtävään kiirehtimättä.

Tehtävän tavoitteena oli saada opiskelijat kielentämään matematiikkaa ja geometrisia termejä. Opiskelijoiden tulisi käyttää kolmiulotteisia termejä, kuten pyramidi tai ympyräkartio, oikein sekä olla sekoittamatta termejä keskenään esimerkiksi neliö ja kuutio.

4.3 Tutkimustilanne ja osallistujat

Tutkimus toteutettiin pääkaupunkiseudun yläasteen tiloissa. Tutkimus jaettiin kahdelle päivälle. Ensimmäisen päivän aikana puolet opiskelijoista pääsi osallistumaan tutkimukseen. Seuraava tutkimuspäivä oli kahden päivän kuluttua, jolloin loputkin opiskelijat pääsivät osallistumaan tutkimukseen. Tutkimukseen osallistui yhteensä 15 yhdeksäsluokkalaista, jotka olivat matematiikkapainotteisella luokalla.

Tutkimusasettelu tehtiin ensimmäisenä päivänä luokan perälle. Toisena päivänä saimme tutkimusta varten erillisen tilan, johon asensimme laitteistot. Luokkaan tuli neljä opiskelijaa kerrallaan. Kaikki tutkimukseen osallistujat olivat saaneet etukäteen tutkimuslupamonisteen (Liite 1), jonka he olivat palauttaneet opettajan kautta. Opiskelijoiden saavuttua tilaan heitä ohjeistettiin vaihe kerrallaan, mitä tulee tapahtumaan.

Aluksi he saivat täytettäväkseen tehtävämonisteen (Liite 2), jonka tekeen oli annettu viisi minuuttia aikaa. Rajattu aika, viisi minuuttia, tuli siitä, että tehtävämonistetta oltiin testattu matematiikan yliopisto-opiskelijoilla eikä kukaan saanut tehtyä monistetta virheettömästi alle viidessä minuutissa. Tehtävien tarkoituksena oli karkeasti kartoittaa opiskelijoiden kolmiulotteisen hahmottamisen taso ennen tehtävien tekoa virtuaalitodellisuudessa.

Tämän jälkeen neljä opiskelijaa jakaantuivat kahteen pariin, toinen pareista sai virtuaalitodellisuuslasit päähän ja toinen opiskelijoista sai yhden tehtävän (Liite 3), jossa oli kuvattu kolmiulotteinen rakennelma kolmesta eri suunnasta, joka piti yrittää selittää parille, jotta hän rakentaisi virtuaalitodellisuuteen samanlaisen kolmiulotteisena, kuva 8.

Alussa opiskelijoita perehdytettiin VR-lasien ja ohjaimien käyttöön ja kun opiskelija sai lasit päähän, hän sai vielä perehtyä laitteiston käyttöön ja tarvittaessaan kysyä kysymyksiä toiminnoista. Jokainen opiskelija oli virtuaalitodellisuudessa kahdeksan minuuttia, minkä jälkeen roolit vaihtuivat ja toiselle parille annettiin erilainen tehtävä selitettäväksi parilleen. Tässä tilanteessa kahdeksan minuutin aikarajoitus johtui käytännön syistä, sillä tutkimuksen tekeen oli varattu aikaa oppitunnin verran sekä tietty määrä opiskelijoita, jotta jokainen ehtisi tehdä saman verran jokaista osiota, päädyttiin rajaamaan VR-kokeiluun aikaa kahdeksan minuuttia henkilöä kohden.



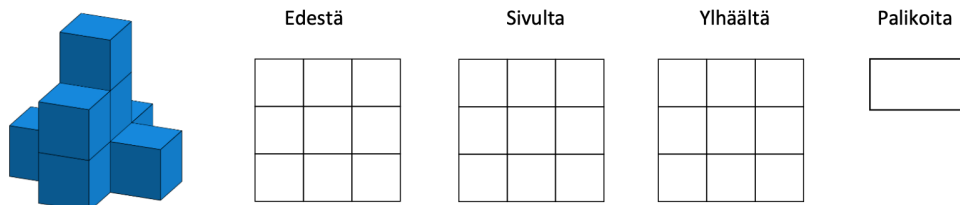
Kuva 8: Tutkimustilanne, jossa opiskelija selittää toiselle opiskelijalle tehtävää

Sen jälkeen kun molemmat parista olivat olleet sekä selittäjän roolissa, että virtuaalitodellisuudessa, he saivat kyselylomakkeen (Liite 4) vastattavaksi, josta 10 ensimmäistä kysymystä olivat SUS-kysymyksiä ja loput kartoittivat opiskelijoiden mielipidettä tehtävistä ja niiden ohjeistuksesta. Kyselyn vastaamiseen aikaa ei rajoitettu. Kun opiskelijat olivat vastanneet tähän kyselyyn he saivat poistua tilasta ja sisään otettiin seuraavat neljä opiskelijaa. Kaikenkaikkiaan neljän opiskelijan tutkimukseen meni keskimäärin 30 minuuttia.

4.4 Aineistonkeruumenetelmät

Tutkimuksessa käytettiin aineistonkeruumenetelminä kyselyjä sekä observointia.

Tutkimuksessa tehtiin kaksi kyselyä: alkutehtävät sekä loppukysely. Alkutehtävät mukailivat tehtäviä oppikirjoista Kartio 4, Järvinen, Latva ja Makkonen (2005), sekä Kolmio, Latva, Tolvanen ja Tuomaala (2011). Alkutehtävien tavoitteena oli kartoittaa opiskelijoiden avaruudellista hahmotuskykyä. Tehtävinä oli erilaisia kuutiorakennelmia, jotka opiskelijan tuli piirtää kuvattuna edestä, sivulta ja jotkut rakennelmat myös ylhäältä katsotuna. Lopuksi opiskelijan tuli laskea kuutioiden määrät. Esimerkkitehtävä on kuvattu kuviossa 9. Tehtäviin ei ollut pelkästään yhtä oikeaa vastausta vaan vastauksia saattoi olla useita ja kaikkia perusteltuja vastauksia pidettiin oikeina. Kyselyssä oli 6 rakennelmaa ja viisi minuuttia aikaa vastata tehtäviin. Tavoitteena oli tehdä kysely, jota kukaan ei ehtisi tehdä loppuun, jotta voitaisiin eritellä opiskelijoiden osaamista. Alkukyselyä testattiin Helsingin yliopiston matematiikan opiskelijoilla ja sitä paranneltiin palautteen mukaan. Palautteen pohjalta muun muassa korjattiin vastausruudukkoa niin, että ei jäänyt ylimääräisiä ruudukkoita korkeus- eikä leveys suunnissa, sillä se monesti hämmensi vastaajia, mikä ei ollut tehtävien tarkoitus.



Kuva 9: Esimerkki alkutehtävästä

Loppukysely sisälsi kaksi osiota, ensimmäinen oli kymmenen kysymyksen SUS-osio koskien VR-sovellusta ja toinen osio sisälsi kysymyksiä tehtävistä sekä kaksi avointa kysymystä liittyen tehtävien sekä tehtävänantojen parannusehdotuksiin.

Observointia käytettiin pääosin siihen, että tarkkailtiin kuinka monta tehtävää jokainen pari ehti suorittaa annetussa ajassa. Kirjattiin myös muistiin joitain opiskelijoiden lausahduksia tutkimuksen aikana.

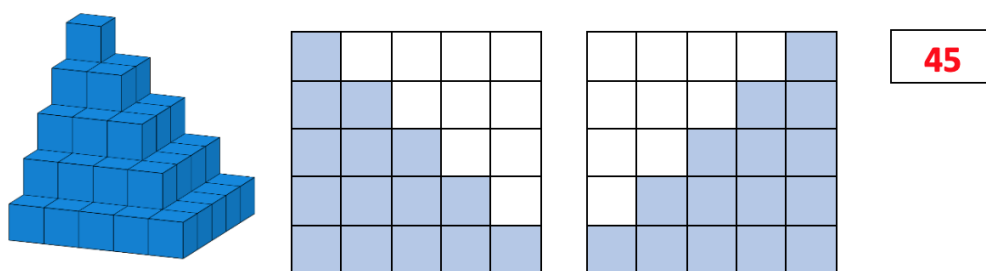
Luku 5

Tutkimustulokset

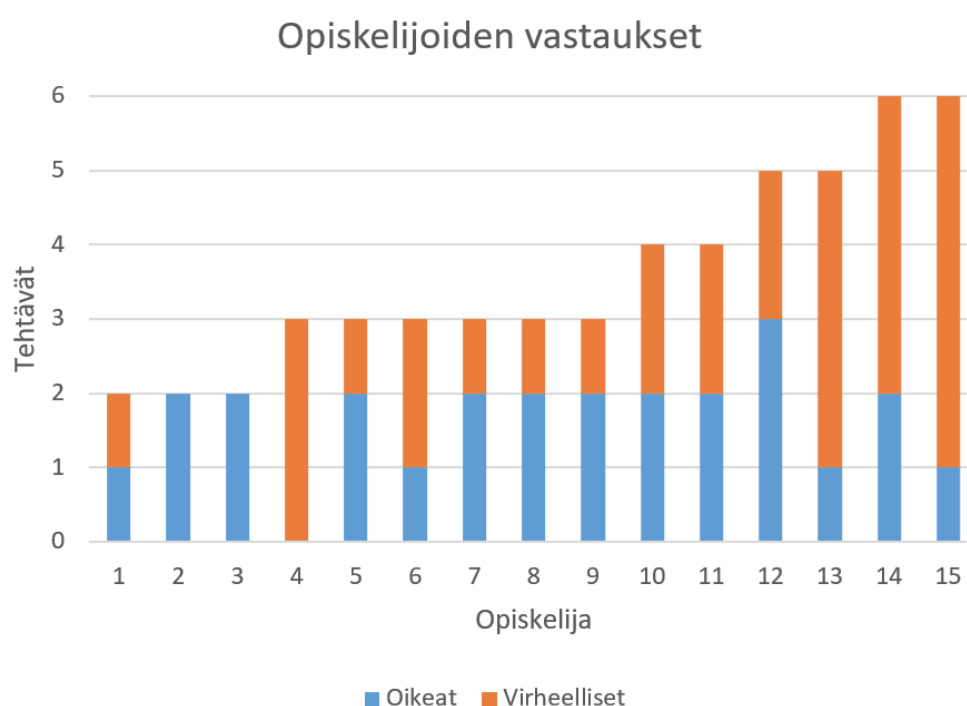
Kaikki tutkimukseen osallistuneet opiskelijat (15) vastasivat jokaiseen kyselyyn. Ensimmäisessä tehtävämonisteessa, alkutehtävät (Liite 2), oli rajattu aika tehtävien tekoon ja tehtäviä oli yhteensä kuusi. Vain kaksi vastaajaa ehti aloittaa viimeisen tehtävän, mutta he olivat saaneet ennen sitä vain yhden tai kaksi tehtävää oikein. Vaikka he olivat ehtineet tehdä melkein koko monisteen, he olivat tehneet suurimman osan tehtävistä virheellisesti. Tässä tapauksessa tehtävä pidetään oikein tehtynä, jos rakennelma on piirretty jokaiselta puolelta oikein sekä kuutioiden määrät on laskettu oikein. Mikäli on tapahtunut laskuvirhe, joltain puolelta katsottuna kuvio on piirretty väärin tai tehtävää ei olla tehty loppuun, tehtävän vastausta pidetään virheellisenä. Tehtäviin oli monia oikeita vastauvaihtoehtoja, mutta mikäli piirretty kuvio ja lopullinen kuutioiden laskettu määrä, eivät täsmänneet, tehtävä ei ole tällöin ratkaistu oikein. Yleisin laskuvirhe on tehty tehtävämonisteen toisessa tehtävässä, kuva 10, jossa kuutioiden määräksi on laskettu esimerkiksi 45, eikä 55, mikä olisi ollut oikea vastaus. Tehtävänannossa oli määriteltynä, että kuutiot eivät leiju, vaan jokaisen palikan alla on toinen palikka.

Keskimäärin alkutehtäviä ehdittiin ratkaista 3,6 rakennelmaa viidessä minuutissa, mutta niistä suurin osa oli virheellisesti ratkaistuja. Virheellisiä ratkaisuja oli keskimäärin 1,9 rakennelmaa, ja oikeita ratkaisuja oli keskimäärin vain 1,7. Toisin sanoen keskimäärin näyttää siltä, mitä enemmän tehtäviä on ehditty tehdä, sitä enemmän niitä on suhteellisesti mennyt väärin, kuva 11.

Alkutehtävien jälkeen opiskelijat tekivät VR-tehtäviä. Jokainen pari eh-



Kuva 10: Kuutioiden lukumäärä laskettu virheellisesti, oikea vastaus olisi ollut 55



Kuva 11: Tilasto alkutehtävistä. X-akselilla on merkitty opiskelijan numero ja y-akselilla, kuinka monta tehtävää hän on ehtinyt tehdä oikein sekä virheellisesti ja kuinka monta tehtävää yhteensä hän on ehtinyt yrittää

ti tehdä enintään yhden VR-tehtävän. He tekivät liitteestä 3 molemmilta sivuilta ensimmäiset tehtävät. Tutkimukseen osaallistui myös yksi kolmen hengen ryhmä, jossa yksi henkilö ehti tehdä kaksi annettua tehtävää. Tämä yksi ryhmä teki näiden tehtävien lisäksi myös liitteestä 3, toiselta sivulta tehtävät 2 ja 3. Jälkimmäiset tehtävät olivat kuvioita, jotka olivat kuvattu vain kahdesta eri suunnasta. Observoimalla tätä kolmen hengen ryhmää,

syntyi käsitys, että kuviot, jotka oli kuvattu vain kahdesta eri suunnasta, olivat helpompia selittää ja toteuttaa.

Opiskelijoiden yleisin avaruusgeometristen kuvioiden kielentämisvirhe oli kolmiulotteisten kappaleiden kutsuminen kaksiulotteisten kuvioiden nimillä, kuten kuutiota kutsuttiin neliöksi ja palloa ympyräksi. Monesti pyramidia ja ympyräkartiota kutsuttiin kolmioksi, jolloin toinen pareista pyysi tarkennusta, millaisesta kolmiosta on kyse. Tässä tapauksessa yleensä selittäjä tarkensi, mitä muotoa hän tarkoitti sanomalla oikean nimityksen kolmiulotteiselle kappaleelle.

Loppukyselystä selvisi, että suurin osa vastaajista oli käyttänyt aikaisemmin jonkinlaista VR-sovellusta ja vain kolmelle henkilölle teknologia oli uutta. Lisäksi vastaajien mielestä tehtävien vaikeustaso oli hyvä, ei liian helppo eikä liian vaikea. Kaikki opiskelijoiden vastaukset kyselyihin löytyvät liitteestä 5. Väite 13 oli "Tämä tehtävä auttoi minua hahmottamaan avaruusgeometrisia kappaleita paremmin", johon pystyi vastaamaan asekolla täysin eri mieltä - täysin samaa mieltä. Seitsemän opiskelijaa oli samaa tai täysin samaa mieltä väitteen kanssa eli he kokivat, että tehtävistä oli apua kolmiulotteisten kappaleiden hahmottamiseen. Neljä opiskelijaa oli eri tai täysin eri mieltä väitteen kanssa ja neljä opiskelijaa ei ollut samaa eikä eri mieltä.

Avoimissa kysymyksissä kartoitettiin mielipiteitä ja parannusehdotuksia VR-tehtäville. Kysymys numero 15 oli "Miten parantaisin tehtäviä?". Kuusi vastaajaa jätti joko kohdan tyhjäksi tai ei parantaisi tehtäviä mitenkään. Seuraavaksi eniten ääniä sai ehdotus (kolme vastaajaa) jonka mukaan tulisi joko antaa lisää aikaa tehtävän tekemiseen tai helpottaa tehtäviä. Kaksi vastaajaa ehdotti painovoiman sekä kappaleiden heittäminen mahdollisuuden lisäämistä sovellukseen. Muut ehdotukset olivat kappaleiden poistamisen mahdollisuus sekä kuvien selkeyttäminen. Lisäksi opiskelijat ehdottivat, että tehtäviin voisi merkitä, miltä puolelta toinen kuva on kuvattu, oikealta vai vasemmalta. Opiskelijat kaipasivat myös lisää monipuolisuutta.

Kysymys numero 16 oli "Miten parantaisin tehtävän ohjeistusta?". 11 vastaajan mielestä tehtävän ohjeistus oli hyvä eivätkä he parantaisi sitä mitenkään. Kolmen vastaajan mielestä ohjeistusta voisi parantaa vielä. Yksi vastaaja ehdotti, että tehtäviin voisi lisätä samat värit kuin mitkä olivat käytössä myös kappaleilla sovelluksessa.

Loppukyselyssä kymmenen kysymystä käsitteli sovelluksen käytettävyyttä. SUS-tulokset vaihtelivat välillä 45 ja 92,5. Tulosten keskiarvo oli 78,2. Tuloksen Cronbachin alfa -luku on 0,733. Koska SUS-kyselyn joka toinen väite oli positiivinen ja joka toinen negatiivinen Cronbachin alfa -lukua laskettaessa joka toinen väite tuli ilmaista käänteisesti. Sovellus sijoittuu SUS-tuloksen pestusteella prosenttivälille 80-84 eli 20 prosentin parhaan sovelluksen joukkoon. Sovellus oli loppujen lopuksi keskivertoa parempi.

Luku 6

Pohdinta

Tutkimuksessa tutkittiin teknologian uutta käyttöä matematiikan opetuksessa ja apukeinona kolmiulotteisten kappaleiden havainnollistamisessa. Tutkimuksessa käsiteltiin matemaattisten termien kielentämistä sekä kehollista oppimista. Tutkimus toteutettiin kahtena eri päivänä 15 opiskelijalle. Jotta saataisiin tarkempia tutkimustuloksia, tämä tutkimus olisi hyvä tehdä monelle eri luokalle ja mieluiten yhtenä päivänä koko luokalle. On mahdollista, että ne opiskelijat, jotka osallistuivat tutkimukseen toisena päivänä olivat jo kuulleet tehtävistä kavereiltaan, joten heille tehtävät saattoivat olla helpompia. Toisaalta tehtävät oli hankala selittää yksityiskohtaisesti, joten oletin, että opiskelijat, jotka osallistuivat tutkimukseen toisena päivänä eivät tienneet millaisia tehtäviä oli tulossa. Paritehtävissä vaadittiin kolmiulotteisten kappaleiden kielentämistä, mikä oli monille haastavaa, mutta tehtävän myötä monet opiskelijat alkoivat käyttää oikeita termejä.

VR-tehtävissä oli haastetta. Selitettävät kuviot, jotka oli kuvattu kolmesta eri suunnasta, osoittautuivat haasteellisemmiksi kuin kuviot, jotka oli kuvattu kahdesta eri suunnasta. Seuraavalla kerralla aloittaisin tehtävillä, jotka on kuvattu kahdesta eri suunnasta, sillä niillä voi olla monia ratkaisuvaihtoehtoja. Tehtäviin olisi myös hyvä varata enemmän aikaa, sillä teknologia vaikutti olevan mielenkiintoista ja opiskelijat olisivat halunneet tutkia sen mahdollisuuksia pidempään.

Tähän tutkimukseen osallistuneet opiskelijat olivat matematiikkapainotteisella luokalla. Samanlainen tutkimus olisi mielenkiintoista toteuttaa myös sellaiselle luokalle, jolla ei ole painotusta sekä myös oppilailla, joilla

on vaikeuksia havainnoida kolmiulotteisesti.

Tutkimuksessa tavoitteena oli selvittää tulokset kolmeen tutkimuskysymykseen. Kaksi ensimmäistä kysymystä käsitteli opiskelijoiden kokemuksia ja palautetta. Tutkimustuloksista selviää, että opiskelijat pääosin pitivät sovelluksesta ja tehtävistä sekä kokivat ne hyödyllisiksi. Tehtäviä sekä sovellusta voidaan vielä palautteen perusteella kehittää. Teknologia taipuu myös hyvin monipuolisesti, jolloin sitä voidaan soveltaa hyvin monilla eri tavoin. Esimerkiksi opiskelijoille voidaan antaa tehtäväksi rakentaa omia rakennelmia ja tämän jälkeen laskea rakennelman tilavuutta tai pinta-alaa. Sovellukseen voidaan tuoda uusia työkaluja kuten mittastyökalu tai halkaisijatyökalu ja opiskelijat voisivat työskennellä esimerkiksi pienissä ryhmissä. Jatkokehitysmahdollisuuksia on monia.

Kolmas tutkimuskysymys koski sitä, vaikuttaako opiskelijoiden osaaminen siihen, kuinka hyödyllisenä he kokivat sovelluksen. Tutkimusaineiston perusteella opiskelijoiden hahmotuskyky alkukyselyn perusteella vaikutti olevan melkein samaa tasoa. Yhdeksän opiskelijaa vastasi kahteen tehtävään oikein ja neljä opiskelijaa yhteen tehtävään oikein. Yksi opiskelija vastasi kolmeen tehtävään ja yksi opiskelija ei vastannut yhteenkään tehtävään oikein. Näistä ei vielä voi tehdä mitään suuria päätelmiä tai yleistyksiä, mutta kun tutkii näiden kahden opiskelijan vastauksia loppukyselyssä, huomaa yhden isomman eron vastauksissa. Opiskelija, joka ei vastannut yhteenkään alkukyselyn tehtävään oikein, antoi SUS-kyselyn tulokseksi 57,5, mikä on keskivertoa huonompi. Opiskelija joka vastasi kolmeen tehtävään oikein antoi SUS-kyselyn tulokseksi 90, mikä on keskivertoa parempi. Toisin sanoen yksi opiskelija arvioi sovelluksen käytettävyyttä huonoksi ja toinen opiskelija todella hyväksi. Jatkotutkimusten kohdalla olisi mielenkiintoista tutkia tarkemmin tätä tutkimuskysymystä.

Tästä aiheesta voi tehdä jatkotutkimuksia moneen hyvin eri suuntaan. Virtuaalitodellisuudesta ja sen käytöstä opetuksessa olisi myös hyvin mielenkiintoista saada palautetta opettajilta eikä pelkästään opiskelijoilta. Tämän tutkimuksen pohjalta tehtävien ja sovelluksen kehittämistä on helppo jatkaa.

Viitteet

- Anderson, Terry ja Julie Shattuck (2012). "Design-based research: A decade of progress in education research?" *Educational researcher* 41.1, s. 16–25.
- Andrews, Christopher et al. (2019). "Extended reality in medical practice". *Current treatment options in cardiovascular medicine* 21.4, s. 18.
- Anttila, Eeva et al. (2013). *Koko koulu tanssii! Kehollisen oppimisen mahdollisuuksia kouluyhteisössä.*
- Azuma, Ronald T. (1997). "A Survey of Augmented Reality". *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 6.4, s. 355–385. DOI: 10.1162/pres.1997.6.4.355.
- Bowman, Doug A et al. (1999). "The educational value of an information-rich virtual environment". *Presence: Teleoperators & Virtual Environments* 8.3, s. 317–331.
- Brooke, John (1996). "SUS-A quick and dirty usability scale". Teoksessa: *Usability evaluation in industry*. Toim. Patrick W. Jordan et al. London, UK: Taylor Francis, s. 189–194.
- Chazan, Daniel (1993). "High school geometry students' justification for their views of empirical evidence and mathematical proof". *Educational studies in mathematics* 24.4, s. 359–387.
- Donnelly, Joseph E et al. (2016). "Physical activity, fitness, cognitive function, and academic achievement in children: a systematic review". *Medicine and science in sports and exercise* 48.6, s. 1197.
- Duval, Raymond (1998). "Geometry from a cognitive point of view". *Perspectives on the Teaching of Geometry for the 21st century*, s. 37–52.
- Fischbein, Efraim (1993). "The theory of figural concepts". *Educational studies in mathematics* 24.2, s. 139–162.
- GeoGebra AR (n.d). URL: <https://www.geogebra.org/m/R8Qd7U8y>. (Viitattu: 11.08.2020).

- Halinen, Hanna et al. (2016). *Huippu 3*. Helsinki: Otava. ISBN: 978-951-1-29648-5.
- Järvinen, Rita, Olli Latva ja Jari-Pekka Makkonen (2005). *Kartio 4*. Helsinki: Tammi. ISBN: 978-951-26-4969-3.
- Joutsenlahti, Jorma (2003). ”Kielentäminen matematiikan opiskelussa”. Teoksessa: *Opettaja, asiantuntijuus ja yhteiskunta. Ainedidaktinen symposium*. Toim. Virta Arja ja Marttila Outi. Vol. 7, s. 188–196.
- Joutsenlahti, Jorma ja Kaisu Rättyä (2015). ”Kielentämisen käsite ainedidaktisissa tutkimuksissa”. Teoksessa: *Rajaton tulevaisuus. Kohti kokonaisvaltaista oppimista. Ainedidaktiikan symposium Jyväskylässä*. Toim. Merja Kauppinen, Matti Rautiainen ja Mirja Tarnanen, s. 45–62.
- Joutsenlahti, Jorma ja Timo Tossavainen (2018). ”Matemaattisen ajattelun kielentäminen ja siihen ohjaaminen koulussa”. Teoksessa: *Matematiikan opetus ja oppiminen*. Toim. Jorma Joutsenlahti, Harry Silfverberg ja Pekka Räsänen. Jyväskylä: Niilo Mäki Instituutti, s. 410–430.
- Juuti, Kalle ja Jari Lavonen (2006). ”Design-based research in science education: One step towards methodology”. *Nordic studies in science education* 2.2, s. 54–68.
- Kontra, Carly et al. (2015). ”Physical experience enhances science learning”. *Psychological science* 26.6, s. 737–749.
- Laborde, Colette et al. (2006). ”Teaching and learning geometry with technology”. Teoksessa: *Handbook of research on the psychology of mathematics education*. Brill Sense, s. 275–304.
- Latva, Olli, Aulis Tolvanen ja Tuulikki Tuomaala (2011). *Kolmio, Matematiikan harjoituskirja 3, Yksilölliseen opetukseen*. Helsinki: Tammi. ISBN: 978-951-26-5425-3.
- Lewis, James R. ja Jeff Sauro (2009). ”The Factor Structure of the System Usability Scale”. Teoksessa: *Human Centered Design*. Toim. Masaaki Kurosu. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, s. 94–103. ISBN: 978-3-642-02806-9.
- Lewis, James R ja Jeff Sauro (2018). ”Item benchmarks for the system usability scale”. *Journal of Usability Studies* 13.3, s. 158–167.
- McLellan, Hilary (1996). ”Virtual realities”. *Handbook of research for educational communications and technology*, s. 457–487.
- Mehta, Ranjana K, Ashley E Shortz ja Mark E Benden (2015). ”Standing up for learning: A pilot investigation on the neurocognitive benefits

- of stand-biased school desks". *International journal of environmental research and public health* 13.1, s. 59.
- Milgram, Paul ja Fumio Kishino (1994). "A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays". *IEICE Trans. Information Systems* vol. E77-D, no. 12, s. 1321–1329.
- Mixed Reality Hub* (n.d.). URL: <https://www.helsinki.fi/en/researchgroups/mixed-reality-hub>. (Viitattu: 15.11.2019).
- Moore, Candice ja Sandra M Linder (2012). "Using dance to deepen student understanding of geometry". *Journal of Dance Education* 12.3, s. 104–108.
- Morgan, Kate, Andrew J Johnson ja Christopher Miles (2014). "Chewing gum moderates the vigilance decrement". *British Journal of Psychology* 105.2, s. 214–225.
- Peppers, Ken et al. (2008). "A design science research methodology for information systems research". *Journal of management information systems* 24.3, s. 45–77.
- Pernaa, Johannes (2013). "Kehittämistutkimus tutkimusmenetelmänä". *Kehittämistutkimus opetuslalla*, s. 9–26.
- Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet 2014* (2015). Määräykset ja ohjeet / Opetushallitus. Lisäpainokset: 2. p. 2015. Helsinki: Opetushallitus.
- Perusopetuksen opetussuunnitelman ydinasiat* (n.d.). URL: <https://www.oph.fi/fi/koulutus-ja-tutkinnot/perusopetuksen-opetussuunnitelman-ydinasiat>. (Viitattu: 14.08.2019).
- PokemonGo* (2020). URL: <https://www.pokemongo.com/en-gb/>. (Viitattu: 11.08.2020).
- Regenbrecht, Holger et al. (2004). "Using Augmented Virtuality for Remote Collaboration". *Presence* 13, s. 338–354. DOI: 10.1162/1054746041422334.
- Swain, Merrill (2006). "Languaging, agency and collaboration in advanced second language proficiency". *Advanced language learning: The contribution of Halliday and Vygotsky*. Toim. Heidi Byrnes, s. 95–108.
- Smeds, Pia, Eila Jeronen ja Sirpa Kurppa (2015). "Farm Education and the Value of Learning in an Authentic Learning Environment." *International Journal of Environmental and Science Education* 10.3, s. 381–404.
- Zoan* (n.d.). URL: <https://zoan.fi/about/#>. (Viitattu: 26.03.2020).

Suostumus tutkimukseen osallistumisesta

Lupalappu lasten huoltajille

Tutkimuksen nimi: "Kehittämistutkimus: Virtuaalitodellisuuden käyttö avaruusgeometrian opetuksessa yläasteella"

Tutkimuksen tekijä: Maria Larionova, opetusavustaja, Helsingin yliopisto

Kuvaus tutkimuksesta: Tässä tutkimuksessa tavoitteena on kehittää uusi tapa havainnollistaa avaruusgeometrisia kappaleita. Havainnollistaminen toteutetaan virtuaalitodellisuuteen tehdyllä sovelluksella ja siihen liittyvillä tehtävillä.

Tutkimuksen ohjaajat ja yhteystiedot: Prof. Juha Oikkonen (juha.oikkonen@helsinki.fi), FT Martina Aaltonen (martina.aaltonen@helsinki.fi), KM Antti Lähtevänoja (antti.lahtevanoja@helsinki.fi)

Missä ja miten tutkimuksen tulokset julkaistaan: Maisterintutkielma julkaistaan sähköisessä muodossa Helsingin yliopiston E-Thesis -palvelussa

Minulle on selvitetty yllä mainitun tutkimuksen tarkoitus ja tutkimuksessa käytettävät tutkimusmenetelmät (ks. liite)

Olen tietoinen siitä, että tutkimukseen osallistuminen on vapaaehtoista. Olen myös tietoinen siitä, että tutkimukseen osallistuminen ei aiheuta minkäänlaisia kustannuksia, tutkittavan henkilöllisyys jää vain tutkijan tietoon, tutkittavaa koskevaa aineistoa käytetään kyseiseen tutkimukseen (maisterintutkielma) ja mahdolliseen jatkotutkimukseen ja aineisto hävitetään tutkimuksien valmistuttua.

Suostun siihen, että huollettavaani havainnoidaan ja videoidaan tutkimustilanteen aikana, ja hänen antamiaan tietoja käytetään kyseisen tutkimuksen tarpeisiin.

Aineisto anonymisoidaan jo datankeruun aikana, ja videota tutkimustilanteesta pidetään vain yhdellä tietokoneella lokaalisti. Se hävitetään välittömästi datan analysoinnin jälkeen. Video kuvataan 360-kameralla, eikä sitä kohdisteta kenenkään tutkittavan kasvoihin.

Tutkittava voi halutessaan keskeyttää tutkimukseen osallistumisensa milloin tahansa ilman, että hänen täytyy perustella keskeyttämistään.

Päiväys:

Huoltajan allekirjoitus ja nimenselvennys:

LIITE

Tutkimuksen tarkoitus ja tutkimuksessa käytettävät tutkimusmenetelmät

Tässä tutkimuksessa tavoitteena on kehittää uusi tapa havainnollistaa avaruusgeometrisia kappaleita. Havainnollistaminen toteutetaan virtuaalitodellisuuteen tehdyllä sovelluksella.

Kolmiulotteinen hahmotuskyky on monelle hyvin haastavaa. Tavoitteena on ottaa käyttöön uusi työkalu, joka helpottaa kolmiulotteisten kappaleiden hahmottamista. Siitä voisi tulla uusi tapa havainnollistaa geometriaa kurssin opetuksessa, jossa apua kaipaavat saavat kokea erilaisen havainnointiympäristön, joka voi auttaa hahmottamista ja parantaa ymmärrystä.

Tutkimuksessa avaruusgeometriaa havainnollistetaan virtuaalitodellisuuteen tehdyllä sovelluksella ja siihen liittyvillä tehtävillä. Opiskelijat pääsevät testaamaan sovellusta VR-lasien avulla.

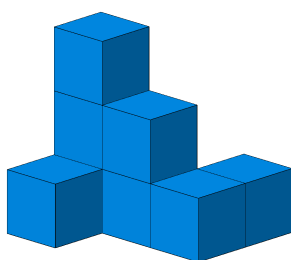
Ennen kuin opiskelijat testaavat sovelluksen, he tekevät alkukyselyn. Opiskelijoiden kokeiltua sovellusta ja tehtyä virtuaalitodellisuuteen liittyvät tehtävät, he vastaavat loppukyselyyn, jossa heiltä kysytään kysymyksiä liittyen sovellukseen ja tehtäviin.

Tutkimustilanne kuvataan 360-kameralla, eikä sitä kohdisteta kenenkään tutkittavan kasvoihin.

LIITE 2: Alkutehtävät

Tarkastellaan kuution muotoisista palikoista tehtyjä rakennelmia. Jokaisen palikan alla on toinen palikka, eli palikat eivät leiju. Piirrä rakennelma edestä, sivulta ja ylhäältä katsottuna. Kuinka monta palikkaa rakennelmassa on? Oikeita vastauksia voi olla enemmän kuin yksi.

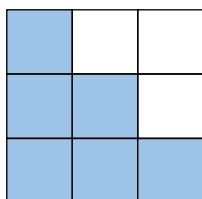
Mallikuvio



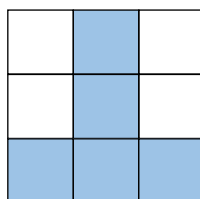
Etupuoli

Oikea puoli

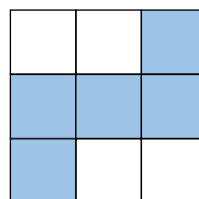
Edestä



Sivulta

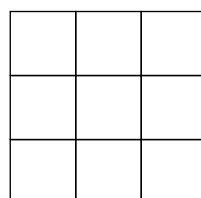
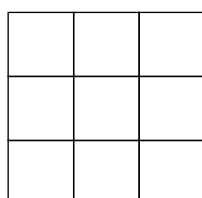
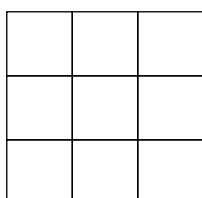
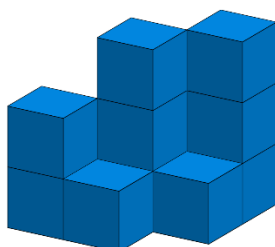


Ylhäältä

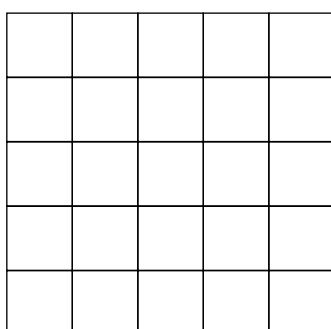


Palikoita

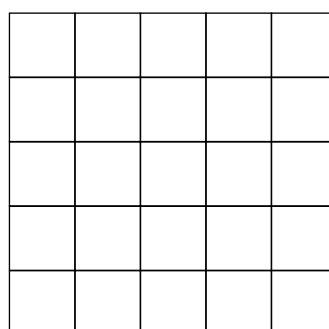
8

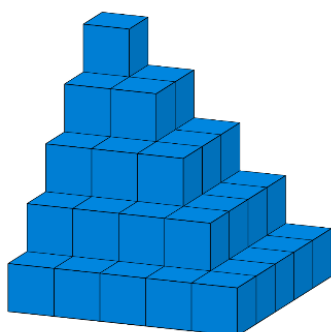


Edestä

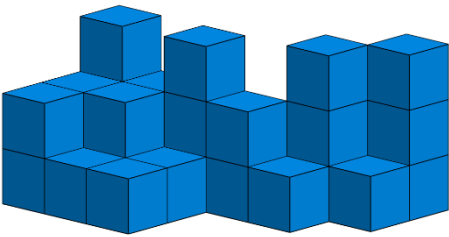


Sivulta

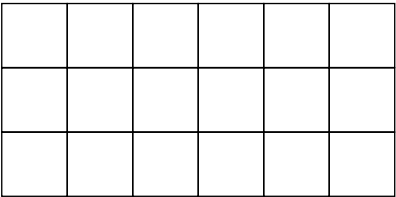




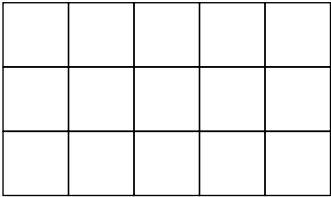
LIITE 2: Alkutehtävät



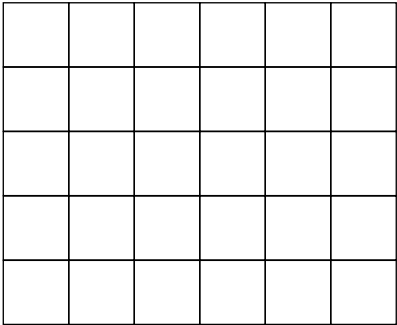
Edestä



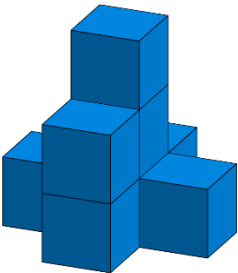
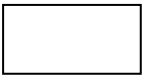
Sivulta



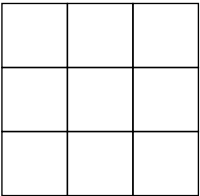
Ylhäältä



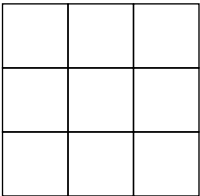
Palikoita



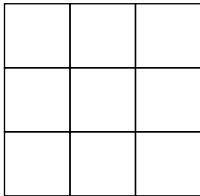
Edestä



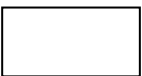
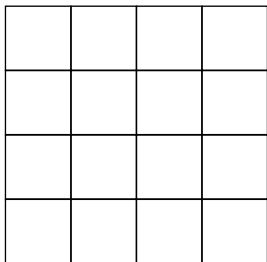
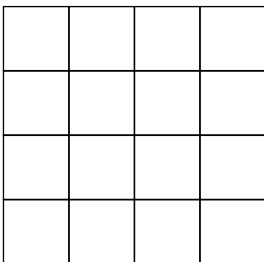
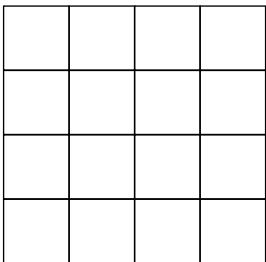
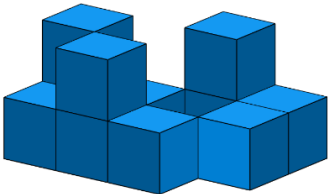
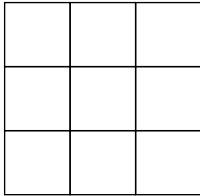
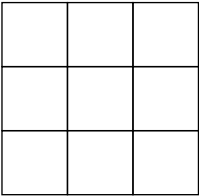
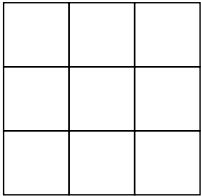
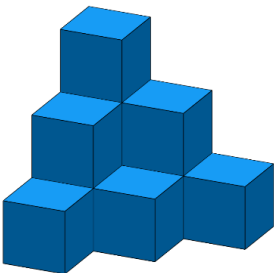
Sivulta



Ylhäältä



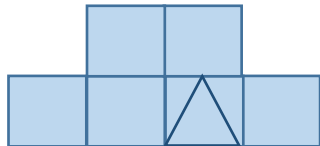
Palikoita



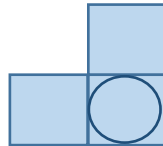
LIITE 3: VR-tehtävät

Kuvat esittävät geometrisista kappaleista koottua rakennelmaa eri suunnista. Selitä kaverille kyseinen rakennelma käyttäen mahdollisimman monipuolisesti erilaisia kappaleita.

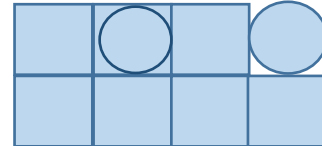
Edestä



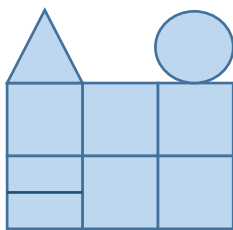
Sivulta



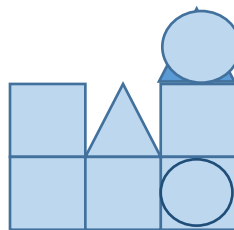
Ylhäältä



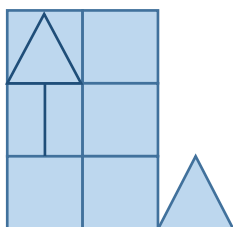
Edestä



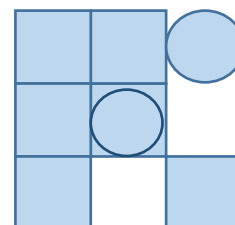
Sivulta



Edestä



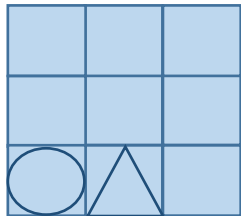
Ylhäältä



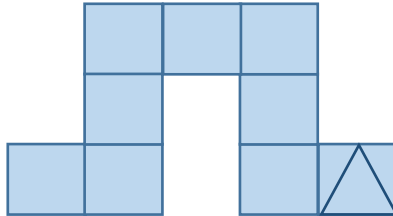
LIITE 3: VR-tehtävät

Kuvat esittävät geometrisista kappaleista koottua rakennelmaa eri suunnista. Selitä kaverille kyseinen rakennelma käyttäen mahdollisimman monipuolisesti erilaisia kappaleita.

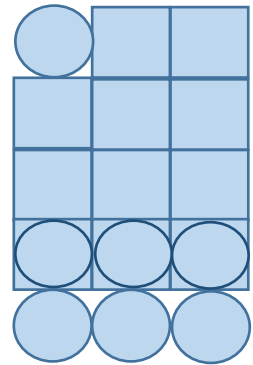
Edestä



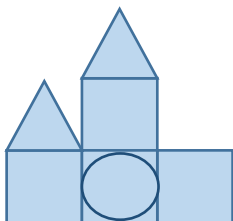
Sivulta



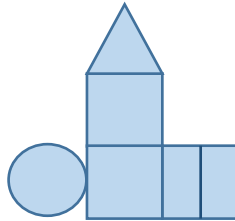
Ylhäältä



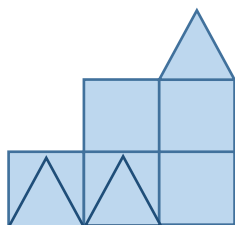
Edestä



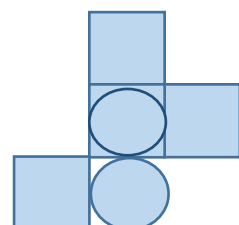
Sivulta



Sivulta



Ylhäältä



LIITE 4: Loppukysely

Vastaa kyselyyn sen mukaan mitä mieltä olit sovelluksesta ja siihen liittyvistä tehtävistä. Ympyröi parhaiten sopiva vaihtoehto. 1 = täysin eri mieltä, 2 = eri mieltä, 3 = ei samaa eikä eri mieltä, 4 = samaa mieltä, 5 = täysin samaa mieltä

	1 = täysin eri mieltä		5 = täysin samaa mieltä		
1. Haluaisin käyttää tätä sovellusta säännöllisesti.	1	2	3	4	5
2. Mielestäni sovellus on tarpeettoman monimutkainen.	1	2	3	4	5
3. Mielestäni sovellusta oli helppo käyttää.	1	2	3	4	5
4. Tarvitsen jonkun apua, jotta osaan käyttää sovellusta.	1	2	3	4	5
5. Mielestäni sovelluksen eri toiminnot olivat helposti löydettävissä.	1	2	3	4	5
6. Mielestäni sovelluksen käyttäminen ei ollut johdonmukaista.	1	2	3	4	5
7. Uskon, että useimmat ihmiset oppivat käyttämään tätä sovellusta helposti.	1	2	3	4	5
8. Mielestäni sovellusta oli epämiellyttävää käyttää.	1	2	3	4	5
9. Tunsin itseni itsevarmaksi, kun käytin sovellusta.	1	2	3	4	5
10. Minun piti opetella paljon asioita, ennen kuin opin käyttämään sovellusta kunnolla.	1	2	3	4	5
11. Tehtävät olivat mielestäni liian helppoja.	1	2	3	4	5
12. Tehtävät olivat mielestäni liian vaikeita.	1	2	3	4	5
13. Tämä tehtävä auttoi minua hahmottamaan avaruusgeometrisia kappaleita paremmin.	1	2	3	4	5

14. Olen käyttänyt jonkinlaista VR-sovellusta aikaisemmin. Ympyröi oikea vastaus. **Ei** **Kyllä**

15. Miten parantaisin tehtäviä?

16. Miten parantaisin tehtävän ohjeistusta?

LIITE 5: Tutkimustulokset

Tutkimustulokset taulukoituna. Vasemmassa reunassa opiskelija numeroituna. Seuraavaksi on alkutehtävät, kuinka monta tehtävää opiskelija ehti tehdä oikein, montako teki virheellisesti sekä kuinka monta yhteensä. Tästä jatkuu loppukyselyn vastaukset, 10 ensimmäistä kysymystä olivat SUS-kyselyyn liittyvät. Keltaisella merkittynä on SUS-luku, joka on laskettu itse annetuista arvoista. Tämän jälkeen tulee loput loppukyselyn vastaukset ja seuraavalla sivulla on avoimien kysymysten kirjalliset vastaukset.

Opiskelija	Alkutehtävät			Loppukysely (SUS)											Loppukysely			
	Oikein	Virhe	Yht.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	SUS	11	12	13	14
1	3	2	5	2	1	5	1	5	1	5	1	4	1	90	2	4	3	Kyllä
2	2	2	4	5	1	4	2	5	3	4	1	4	1	85	1	3	2	Ei
3	1	4	5	3	1	5	4	4	1	4	2	3	2	72,5	1	3	3	Kyllä
4	1	1	2	5	1	4	3	5	1	4	1	1	1	80	1	3	1	Kyllä
5	0	3	3	3	2	3	5	3	2	4	1	2	2	57,5	1	4	4	Kyllä
6	2	4	6	3	3	2	5	4	3	3	2	1	2	45	1	4	4	Kyllä
7	2	1	3	5	1	5	1	4	2	5	1	5	2	92,5	3	3	4	Kyllä
8	2	2	4	3	1	5	1	5	5	5	1	5	1	85	1	5	1	Kyllä
9	1	2	3	5	1	5	1	4	3	4	1	3	2	82,5	1	3	4	Kyllä
10	2	1	3	5	1	3	2	4	2	4	1	5	2	82,5	5	5	5	Kyllä
11	2	0	2	4	1	5	2	5	1	5	2	1	2	80	2	2	1	Kyllä
12	2	0	2	4	1	4	3	4	1	5	1	4	1	85	1	1	4	Ei
13	1	5	6	5	2	5	3	5	3	4	1	3	2	77,5	3	3	4	Kyllä
14	2	1	3	5	1	5	2	5	1	4	1	4	2	90	3	1	3	Kyllä
15	2	1	3	5	3	4	3	4	2	4	2	3	3	67,5	2	2	3	Ei

LIITE 5: Tutkimustulokset

Opiskelija	Loppukysely, avoimet kysymykset	
	15	16
1	Helpompia tehtäviä tai pidempi aika	Oli hyvä
2	Mahdollisuus heittää kappaleita, enemmän kappaleita kuin pallo, kuutio ja pyramidi	En mitenkään, oli hyvä
3	Kuvat voisivat olla hieman selkeämmät	En mitenkään
4	Joko enemmän aikaa tai helpompia tehtäviä	Oli hyvä
5		Selkeämmät ohjeet
6	En tiedä	Lisäämällä ohjeistusta
7	Enemmän tekemistä kuin vain palikoiden asettelua, monipuolisuutta siis	Täydellinen 100
8	Helpottaisin vähäsen kuvioita, joita pitää rakentaa	Ohjeistus oli täydellinen
9		
10	Lisätä fysiikat	En mitenkään
11		
12	Olivat hyviä	Oli hyvä
13	Sivulta katsottuna voisi laittaa että onko vasemmalta katsottu vai oikealta	Ohjeisiin tai paperiin voi laittaa kappaleiden värit
14	Toiminto kappaleiden poistamiselle	Oli selkeä
15	Sovelluksen ja tehtävien selkeyttämisestä voisi olla hyötyä, mutta kiinnostavia ja opettavaisia olivat jo nyt	Tehtävän ohjeistus voisi olla ehkä hieman selkeämpi